

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

19.05.2004

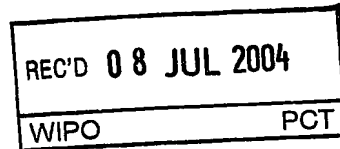
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 1月26日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-017655  
[ST. 10/C]: [JP2004-017655]

出 願 人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

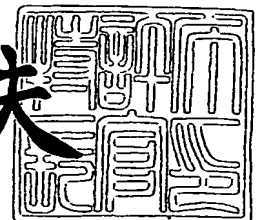


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3055142

【書類名】 特許願  
【整理番号】 2022050189  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 6/122  
【発明者】  
    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内  
    【氏名】 浜田 英伸  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000005821  
    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100098291  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 小笠原 史朗  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 035367  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9405386

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、

第 1 方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって前記第 1 方向に直交する第 2 方向に伝送可能な光伝送路を備え、

前記光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び前記光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、前記第 2 方向と平行でなく、

前記複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記光伝送路へ入射する二つの光路は、前記光伝送路へ入射する位相差と前記光伝送路から出射する位相差とが等しいことを特徴とする光デバイス。

**【請求項 2】**

前記光伝送路へ信号光を入射するための入射部と、

前記光伝送路から信号光を出射するための出射部とを備え、

前記入射部及び前記出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と平行でない方向になるように、前記光伝送路と結合する、請求項 1 に記載の光デバイス。

**【請求項 3】**

前記入射部及び前記出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と直交するように、前記光伝送路と結合している、請求項 2 に記載の光デバイス。

**【請求項 4】**

前記二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ、請求項 2 に記載の光デバイス。

**【請求項 5】**

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $m$  個 ( $m = 1, 2, 3 \dots$ ) 含み、

前記  $m$  個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい、請求項 4 に記載の光デバイス。

**【請求項 6】**

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 5 に記載の光デバイス。

**【請求項 7】**

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 6 に記載の光デバイス。

**【請求項 8】**

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $j$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項 6 に記載の光デバイス。

**【請求項 9】**

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $n$  個 ( $n = 2, 3, 4$

・・・) 含み、

前記  $n$  個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項 4 に記載の光デバイス。

【請求項 10】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 9 に記載の光デバイス。

【請求項 11】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 10 に記載の光デバイス。

【請求項 12】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $(j + 0.5)$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項 10 に記載の光デバイス。

【請求項 13】

前記二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである、請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 14】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $n$  個 ( $n = 2, 3, 4 \dots$ ) 含み、

前記  $n$  個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項 13 に記載の光デバイス。

【請求項 15】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 14 に記載の光デバイス。

【請求項 16】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 15 に記載の光デバイス。

【請求項 17】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $(j + 0.5)$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項 15 に記載の光デバイス。

【請求項 18】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない、請求項 13 に記載の

光デバイス。

【請求項 19】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 18 に記載の光デバイス。

【請求項 20】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記中心部における前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $j/2$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) に等しく、

信号光は、前記第 1 反射面及び第 2 反射面上の、前記光伝送路の第 1 方向の厚さが半分となる中心部で、前記第 1 方向及び第 2 方向に共に直交する第 3 方向に平行な線状に集光される、請求項 19 に記載の光デバイス。

【請求項 21】

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光をマルチモード干渉によって所定の位置から外部へ出射する光デバイスであって、

第 1 方向に屈折率分布を含み、信号光を前記第 1 方向に直交する第 2 方向に伝送可能であり、前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路と、

前記シート状光伝送路へ信号光を入射するための  $M$  個 ( $M = 1, 2, 3, \dots$ ) の入射部と、

前記シート状光伝送路から信号光を出射するための  $N$  個 ( $N = 1, 2, 3, \dots$ ) の出射部とを備え、

前記  $M$  個の入射部及び前記  $N$  個の出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が前記第 2 方向と平行でない方向に前記シート状光伝送路と結合する少なくとも一つの非平行入出射部を含み、

前記非平行入出射部と対応する前記入射部又は前記出射部との間を伝送する信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記シート状光伝送路へ入射する二つの光路は、前記シート状光伝送路へ入射する位相差と前記シート状光伝送路から出射する位相差とが等しく、

前記  $M$  個の入射部及び前記  $N$  個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉の Self-Imaging の効果の条件を満足する位置に配置されていることを特徴とする光デバイス。

【請求項 22】

前記非平行入出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と直交するように、前記光伝送路と結合する、請求項 21 に記載の光デバイス。

【請求項 23】

前記二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ、請求項 21 に記載の光デバイス。

【請求項 24】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $m$  個 ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) 含み、

前記  $m$  個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい、請求項 23 に記載の光デバイス。

【請求項 25】

前記シート状光伝送路は、

前記第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項24に記載の光デバイス。

【請求項26】

前記シート状光伝送路は、

前記第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、

前記第2方向に伝送した信号光の光軸を、前記第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第1及び前記第2反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項25に記載の光デバイス。

【請求項27】

前記シート状光伝送路において、

前記第1反射面により信号光のすべてが前記第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j$ 倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項25に記載の光デバイス。

【請求項28】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を $n$ 個 ( $n = 2, 3, 4 \dots$ ) 含み、

前記 $n$ 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項23に記載の光デバイス。

【請求項29】

前記シート状光伝送路は、

前記第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項28に記載の光デバイス。

【請求項30】

前記シート状光伝送路は、

前記第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、

前記第2方向に伝送した信号光の光軸を、前記第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第1及び前記第2反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項29に記載の光デバイス。

【請求項31】

前記シート状光伝送路において、

前記第1反射面により信号光のすべてが前記第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項29に記載の光デバイス。

【請求項32】

前記二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである、請求項21に記載の光デバイス。

【請求項33】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を $n$ 個 ( $n = 2, 3, 4 \dots$ ) 含み、

前記 $n$ 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項32に記載の光デバイス。

【請求項34】

前記シート状光伝送路は、

前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 33 に記載の光デバイス。

【請求項 35】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 34 に記載の光デバイス。

【請求項 36】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $(j + 0.5)$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい、請求項 34 に記載の光デバイス。

【請求項 37】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない、請求項 32 に記載の光デバイス。

【請求項 38】

前記シート状光伝送路は、

前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 37 に記載の光デバイス。

【請求項 39】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記中心部における前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $j/2$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しく、

信号光は、前記第 1 反射面及び第 2 反射面上の、前記光伝送路の第 1 方向の厚さが半分となる中心部で、前記第 1 方向及び第 2 方向に共に直交する第 3 方向に平行な線状に集光される、請求項 38 に記載の光デバイス。

【書類名】明細書

【発明の名称】光デバイス

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈折率分布を有する光伝送路を備えた光デバイスに関し、より特定的には、光通信システム等で用いられるマルチモード干渉光分岐器やマルチモード干渉光光合成器、あるいは光データバスシート等に好適な光デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

光通信システム等に好適な、光伝送路を用いた光デバイスの研究が行われている。このような光デバイスは、光回路間のデータ交換のための光データバスシートへの応用や、信号光を分岐する光分岐器や信号光を合成するための光合成器への応用が期待されている。光伝送路のうち、マルチモードの光伝送路は、シングルモードの光伝送路と比較して安価であるため、旧来の電子回路の置き換えが可能である。

【0003】

ところが、マルチモードの光伝送路を均質な媒質で構成した場合、信号光を伝送すると、モード毎に物理的な光路長が異なってしまう。このため、光伝送路の長さに依存して出射される光の強度分布が変化する現象（以下、この現象をモード分散という）が発生する。

【0004】

また、マルチモードの光伝送路の長さが100mmを超える程度に長くなる場合は、光路ごとに群速度が相違するため、伝送される光の信号波形が変化してしまう現象（以下、この現象を差動分散という）が発生する。モード分散や差動分散が発生すると、入射光の強度分布を出射側へ保持したまま伝送することができない。

【0005】

上記のような問題を解決するために、屈折率分布が施された光伝送路が提案されている。屈折率分布を持つ媒質中を伝搬する信号光は、屈折率分布に基づき曲線状の光線軌跡を描く。この現象を応用すると、各光路間で物理的な光路長が相違しても、屈折率の差によって光学的な光路長を等しくできる。したがって、屈折率分布を適切に設定することにより、モード分散及び差動分散が発生しないマルチモードの光伝送路を得ることができる。

【0006】

例えば、特許文献1は、積層されたシート状光伝送路を備え、それぞれのシート状光伝送路が積層される方向に屈折率分布を有する光デバイスを記載している。特許文献1に記載されたシート状光伝送路は、屈折率分布によってモード分散や差動分散が発生しないので、マルチモードでギガビットクラスの高周波信号を伝送することができる。

【0007】

このような光デバイスでは、シート状光伝送路に信号光を入射し、シート状光伝送路から信号光を出射するための構成が必要となる。上述の特許文献1に記載された光デバイスにおいて、信号光は、シート状光伝送路の一方の端部から信号光の伝送方向に平行に入射され、シート状光伝送路の他方の端部から信号光の伝送方向に平行に出射する（特許文献1の図1、図9）。

【0008】

また、光導波路（シート状光伝送路）に信号光の光軸を垂直に折り曲げるためのミラーを設け、外部と光導波路とを結合する技術が知られている（特許文献2の第1図、第2図）。特許文献2に記載された光導波路において、伝送方向に対して垂直な方向から入射する信号光は、信号光の伝送方向に対して45度の角度をなすミラーによって折り曲げられ光導波路に入射する。また、光導波路を伝送した信号光は、信号光の伝送方向に対して45度の角度をなすミラーによって折り曲げられ、伝送方向に対して垂直な方向へ出射する（特許文献2の第1図、第2図参照）。

【特許文献1】特開2000-111738号公報（図1、図9）



【特許文献2】特開昭62-35304号公報（第1図、第2図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献1に記載された技術のように、信号光の入射方向とシート状光伝送路の光の伝送方向とを一致させると、入射部分とシート状光伝送路とを損失なく結合することができる。すなわち、シート状光伝送路へ入射する信号光の強度ピークと、シート状光伝送路の屈折率分布とを調整することが容易であるため、入射時の信号光のロスを小さくすることができる。

【0010】

しかしながら、光デバイスは、入射側にレーザなどの光部品を実装し、出射側にセンサーなどの光部品を実装する必要がある。このため、これらの光部品とシート状光伝送路とを結合する際に、光部品とシート状光伝送路との間の高さを調整する必要が生じ、光部品の実装に際して嵩上げを行わなければならないという問題があった。したがって、光デバイスをコンパクトにできなかった。

【0011】

一方、特許文献2は、屈折率分布を備えていないシングルモードのシート状光伝送路に関する技術である。このため、特許文献2に記載された光導波路では、モード分散や差動分散が発生し、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送できないという問題があった。

【0012】

また、近年、マルチモード干渉を用いて、信号光を生成する光デバイスが提案されている。マルチモード干渉を用いると、入射した信号光を複数の信号光に分岐する光分岐器や、入射した複数の信号光を単一の信号光に合成する光合成器を、簡単に得ることができる。しかしながら、特許文献1及び特許文献2のいずれにも、マルチモード干渉に関する記載は認められない。

【0013】

そこで、本発明の第1の目的は、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能な光デバイスを提供することである。

【0014】

また、本発明の第2の目的は、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能で、さらに、マルチモード干渉を用いて信号光を出射することができる光デバイスを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記第1の目的は、以下の構成を備えた光デバイスにより達成される。

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、

第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備え、

光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と平行でなく、

複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しい。

【0016】

以上の構成によれば、本発明に係る光デバイスは、第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備えているから、モード分散及び差動分散を発生させず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することができる。

【0017】

また、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と平行でないので、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。したがって、光デバイスの全体構成をコンパクトにできる。

#### 【0018】

さらに、信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しいので、入射の際の信号光の強度分布をそのまま信号光として出射できる。すなわち、光伝送路により位相差が発生しないので、入射した強度分布のまま光伝送路から出射することができ、光伝送路から信号光を損失なく出射できる。

#### 【0019】

好ましくは、光デバイスは、以下の構成を備える。

光伝送路へ信号光を入射するための入射部と、

光伝送路から信号光を出射するための出射部とを備え、

入射部及び出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と平行でない方向になるように、光伝送路と結合する。

この構成により、入射部又は出射部を、光伝送路の伝送方向端面に設ける必要がなくなる。したがって、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。

#### 【0020】

好ましくは、入射部及び出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と直交するように、光伝送路と結合している。

この構成により、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。例えば、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

#### 【0021】

好ましくは、上述の二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ（以下、構成Aという）。構成Aを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0022】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を $m$ 個（ $m=1, 2, 3 \dots$ ）含み、 $m$ 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい（以下、構成1という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0023】

構成1において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

#### 【0024】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第1方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第1方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

#### 【0025】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送され

る光路の蛇行周期の  $j$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

#### 【0026】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $n$  個 ( $n = 2, 3, 4 \dots$ ) 含み、 $n$  個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0027】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

#### 【0028】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

#### 【0029】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $(j + 0.5)$  倍 ( $j = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

#### 【0030】

好ましくは、上述の二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである（以下、構成Bという）。構成Bを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0031】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $n$  個 ( $n = 2, 3, 4 \dots$ ) 含み、 $n$  個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0032】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

#### 【0033】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

## 【0034】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍( $j=0, 1, 2, 3, \dots$ )に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

## 【0035】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない(以下、構成3という)。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

## 【0036】

構成3において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。

## 【0037】

構成3において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、中心部における第1反射面と第2反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍( $j=0, 1, 2, 3, \dots$ )に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さが半分となる中心部で、第1方向及び第2方向に共に直交する第3方向に平行な線状に集光される。

## 【0038】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

## 【0039】

また、上記第2の目的は、以下の構成を備えた光デバイスにより達成される。

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光をマルチモード干渉によって所定の位置から外部へ出射する光デバイスであって、

第1方向に屈折率分布を含み、信号光を前記第1方向に直交する第2方向に伝送可能であり、前記第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路と、

前記シート状光伝送路へ信号光を入射するためのM個( $M=1, 2, 3, \dots$ )の入射部と、

前記シート状光伝送路から信号光を出射するためのN個( $N=1, 2, 3, \dots$ )の出射部とを備え、

前記M個の入射部及び前記N個の出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が前記第2方向と平行でない方向に前記シート状光伝送路と結合する少なくとも一つの非平行入出射部を含み、

前記非平行入出射部と対応する前記入射部又は前記出射部との間を伝送する信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記シート状光伝送路へ入射する二つの光路は、前記シート状光伝送路へ入射する位相差と前記シート状光伝送路から出射する位相差とが等しく、

前記M個の入射部及び前記N個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足する位置に配置されていることを特徴とする。

## 【0040】

以上の構成によれば、本発明に係る光デバイスは、第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備えている

から、モード分散及び差動分散を発生させず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することができる。

【0041】

また、非平行入射部を含むので、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。したがって、光デバイスの全体構成をコンパクトにできる。

【0042】

また、信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しいので、入射の際の信号光の強度分布をそのまま信号光として出射できる。すなわち、光伝送路により位相差が発生しないので、入射した強度分布のまま光伝送路から出射することができ、光伝送路から信号光を損失なく出射できる。

【0043】

さらに、M個の入射部及びN個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足する位置に配置されているので、マルチビーム干渉を用いて信号光を制御することができる。したがって、光分岐器や光合成器といった光デバイスを得ることができる。

【0044】

好ましくは、非平行入射部は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と直交するように、光伝送路と結合する。この構成により、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。例えば、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

【0045】

好ましくは、上述の二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ（以下、構成Aという）。構成Aを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0046】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部をm個（ $m=1, 2, 3 \dots$ ）含み、m個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい（以下、構成1という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0047】

構成1において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0048】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第1方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第1方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0049】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面より信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期のj倍（ $j=0, 1, 2, 3 \dots$ ）に等しい。この構成により、信号

光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0050】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を $n$ 個 ( $n=2, 3, 4 \dots$ ) 含み、 $n$ 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0051】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0052】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0053】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の  $(j+0.5)$  倍 ( $j=0, 1, 2, 3 \dots$ ) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0054】

好ましくは、上述の二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである（以下、構成Bという）。構成Bを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0055】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を $n$ 個 ( $n=2, 3, 4 \dots$ ) 含み、 $n$ 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0056】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0057】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0058】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍( $j=0, 1, 2, 3, \dots$ )に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

#### 【0059】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない(以下、構成3という)。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【0060】

構成3において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。

#### 【0061】

構成3において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、中心部における第1反射面と第2反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍( $j=0, 1, 2, 3, \dots$ )に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さが半分となる中心部で、第1方向及び第2方向に共に直交する第3方向に平行な線状に集光される。

#### 【0062】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0063】

本発明によれば、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光を伝送することが可能な光デバイスを提供できる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0064】

##### (第1の実施形態)

図1(a)は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の斜視図である。また、図1(b)は、マルチモード干渉二分岐器100の正面図である。図1(a)において、座標系を図中に示すように定め、紙面の下方向をy方向と、紙面の右向きをz方向と、y方向及びz方向に垂直な方向をx方向と定義する。

#### 【0065】

マルチモード干渉二分岐器100は、シート状光伝送路101と、入射部104と、出射部105及び出射部106と、電気用基板107と、電気用基板108とを備える。シート状光伝送路101は、y方向の正の方向に沿って、電気用基板107と、シート状光伝送路101と、電気用基板108とを順に積層した3層構造を備えている。

#### 【0066】

シート状光伝送路101は、y方向(厚さ方向)の厚さがdで、zx平面に対して平行な2次元光伝送路である。シート状光伝送路101は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路101は、z方向の両端に反射面102及び反射面103を持つ。

#### 【0067】

反射面102は、z方向の一方の端部に形成される。反射面102は、y方向の正方向

に沿って入射する信号光を、 $z$ 方向の正方向へ折り曲げるように、 $zx$ 平面に対して $45^\circ$ の角度をなす反射面である。

**【0068】**

反射面103は、入射側に対して反対側である $z$ 方向の他方の端部に形成される。反射面103は、 $z$ 方向の正方向に沿って伝送する信号光を $y$ 方向の負方向へ折り曲げるように、 $zx$ 平面に対して $45^\circ$ の角度をなす反射面である。

**【0069】**

シート状光伝送路101は、 $y$ 方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路101は、 $y$ 方向の厚さが半分の $d/2$ の位置にある $zx$ 方向に平行な面（以下、中心部101aという）が最大屈折率 $n_0$ である。シート状光伝送路101は、中心部101aを対称面として、中心部101aからそれぞれ電気用基板107及び電気用基板108に向けて連続的に屈折率が減少していく屈折率分布を持つ。

**【0070】**

また、シート状光伝送路101は、 $zx$ 平面に平行な面内の屈折率が常に等しい。すなわち、シート状光伝送路101は、 $y$ 方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。

**【0071】**

電気用基板107及び電気用基板108は、平板状である。電気用基板107は、発光素子110と、受光素子111と、受光素子112とを含む。

**【0072】**

発光素子110は、信号光を発生させるための面発光レーザである。面発光レーザは、信号光となるレーザが $y$ 方向の正方向に発振するように配置される。

**【0073】**

また、受光素子111及び受光素子112は、信号光を受光するフォトダイオードである。フォトダイオードは、 $y$ 方向の負方向に沿って伝送される信号光を受光するように配置される。電気用基板107及び電気用基板108は、その他光デバイスを駆動するために必要な図示しない電気部品や光部品を実装する。

**【0074】**

電気用基板107は、発光素子110に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。このスルーホールの内部には、円筒状の入射部104が形成されている。また、電気用基板107は、受光素子111に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。

**【0075】**

このスルーホールの内部には、円筒状の出射部105が形成されている。同様に、電気用基板107は、受光素子112に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。このスルーホールの内部には、円筒状の出射部106が形成されている。

**【0076】**

入射部104は、シート状光伝送路101を構成する材料と同じ材料で作成される。入射部104は、円筒の中心軸に関して軸対称な屈折率分布を持ち、円筒の中心軸を最大屈折率 $n_0$ とし、中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。入射部104の $y$ 方向の長さは、信号光をシート状光伝送路101に平行光として入射するように決定されている。

**【0077】**

入射部104と、出射部105及び出射部106とは、いずれも等しい構造である。また、入射部104と、出射部105と、出射部106とは、いずれもシート状光伝送路101と接着されている。入射部104と、出射部105と、出射部106とは、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件に従って所定位置に形成される。なお、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件については、後述する。

**【0078】**

上記の構成において、発光素子110の面発光レーザの発光点から発振した信号光は、



入射部104に入射し、y方向の正方向に進行する。その後、信号光は、入射部104からシート状光伝送路101に入射し、反射面102でz方向の正方向に折り曲げられ、シート状伝送路101内を伝搬する。信号光は、シート状光伝送路101内でx方向に拡散してマルチモードでz方向の正方向に伝送される。その後、信号光は、反射面103でy方向の負方向に折り曲げられる。

#### 【0079】

ここで、入射部104と、出射部105と、出射部106とは、後述するマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件に従って所定位置に形成されているので、信号光は、出射部105及び出射部106の位置で等エネルギーに二分割され、それぞれ出射部105及び出射部106に入射する。

#### 【0080】

出射部105に入射した信号光は、出射部105から出射して受光素子111のフォトダイオードの受光面で検出される。同様に、出射部106に入射した信号光は、出射部106から出射して受光素子112のフォトダイオードの受光面で検出される。

#### 【0081】

このように、出射部106は、出射部105と等しい構成を持ち、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件に従う所定位置に配置されている。このため、出射部106は、出射部105と等価であり、光学的な作用は等しい。したがって、以下の説明では、出射部105に基づいてのみ行い、出射部106の説明は同一であるため省略する。

#### 【0082】

なお、入射部104と、出射部105と、出射部106とは、いずれも内部を伝送する信号光の光軸は、y方向に平行であり、シート状光伝送路101の信号光の伝送方向であるz方向に直交している。したがって、入射部104と、出射部105と、出射部106とは、いずれも非平行入射部である。

#### 【0083】

図2は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の信号光が伝送される部分の断面図である。図2は、シート状光伝送路101及び入射部104を図1(a)中のC-D-G-H面を含む平面で切断した断面のD-H側と、シート状光伝送路101及び出射部105を図1(a)中のE-F-I-J面を含む平面で切断した断面のE-I側を接続した断面図である。

#### 【0084】

ここで、C-D-G-H面を含む平面は、yz面に平行であり入射部104の中心軸を含む平面である。また、E-F-I-J面を含む平面は、yz面に平行であり出射部106の中心軸を含む平面である。

#### 【0085】

なお、図2において、等しい構成については図1と同じ符号を付している。図2において、発光素子110の発光点を発光点110aと、受光素子111の受光面上の受光点を受光点111aとする。

#### 【0086】

第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100では、信号光はシート状光伝送路101内でy方向の正方向にのみ伝送される。このため、信号光の伝送方向の位相状態の議論を行う場合、信号光のx方向の拡散は考慮しなくてよい。信号光のx方向への拡散は、マルチモード干渉による信号光の強度分布の変化が原因であるためエネルギー伝搬を伴わず、信号光のx方向には常に同位相となるからである。

#### 【0087】

したがって、図2において、伝送方向の位相状態を議論する場合、図1中のxy面に平行なD-E-H-I面は無視してよく、図2のC-D-G-H面のD-H側と、E-F-I-J面のE-I側とを接続した媒質中に記載された光路は、信号光の光路と等価になる。このように、本明細書において、光路あるいは光路長という語を用いる場合、x方向の

拡散は無視していることとする。

【0088】

図2において、発光点110aから発振する信号光は、発散光であるからさまざまな光路を軌跡とする光線を含む。発光点110aから発振する信号光のうち、特に、最も信号光の光軸から離れた位置に入射する二つの光路A及び光路Bを検討する。なお、光路Aは、入射部104に入射する信号光の光軸に関して光路Bと対称な関係にある。図2において、光路Aを実線で表し、光路Bを点線で表す。

【0089】

図2において、発光点110aからy方向の正方向に発振した信号光は、発散光として入射部104に入射する。入射部104は、前述したように中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。このため、入射部104に入射した信号光のうち、入射部104に90度以外の角度をなして入射した光線は、直線状には伝送されず蛇行しながら進行する。

【0090】

すなわち、光路Aに沿って伝送される光線は、屈折率の高い領域から屈折率の低い領域へ伝送され、次第にy方向に平行に曲げられる。光路Bに沿って伝送される光線も、屈折率の高い領域から屈折率の低い領域へ伝送され、次第にy方向に平行に曲げられる。

【0091】

ここで、入射部104は、信号光がシート状光伝送路101に入射する際に平行光（コリメータ光）となるようにy方向の長さが決められている。すなわち、光路Aが、光路Bに平行になるように、入射部104のy方向の物理的な長さが決定されている。したがって、信号光は、平行光としてシート状光伝送路101に入射する。

【0092】

光路Aは、シート状光伝送路101を垂直に横切って反射面102に達し、反射面102によってz方向の正方向に折り曲げられる。一方、光路Bは、すぐに反射面102に達し、反射面102によってz方向の正方向に折り曲げられる。光路Aが反射面102で折り曲げられることにより、すべての信号光がシート状光伝送路101のz方向の正方向に伝送される。その後、光路A及び光路Bは、屈折率分布に従って蛇行しながら進行する。

【0093】

光路Aは、反射面103に達し、反射面103によってy方向の負方向に折り曲げられる。一方、y方向の正方向に平行に入射した光路Bは、光路Aより遅れて反射面103に達し、反射面103によってy方向の負方向に折り曲げられる。

【0094】

このとき、シート状光伝送路101は、出射部105に出射する際に平行光となるようにz方向の構成が決められている。すなわち、光路Aが、光路Bに平行になるように、シート状光伝送路101の物理的な長さが決定されている。したがって、信号光は、平行光として出射部105に入射する。ここで、出射部105を伝送する信号光の光軸は、y方向に平行であり、シート状光伝送路101の信号光の伝送方向であるz方向に直交している。なお、シート状光伝送路101の構成は、後に詳述する。

【0095】

出射部105は、前述したように中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。このため、出射部105に入射した信号光のうち、中心軸から離れた部分に入射した信号光は、直線状には伝送されず蛇行しながら進行する。

【0096】

すなわち、光路Aは、屈折率の低い領域から屈折率の高い領域へ伝送され、次第に対称光軸に接近する方向に曲げられる。光路Bも、屈折率の低い領域から屈折率の高い領域へ伝送され、次第に対称光軸に接近する方向に曲げられる。

【0097】

ここで、出射部105は、屈折率分布及びy方向の物理的長さが入射部104と等しい

出射部 105 このため、信号光は収束光として出射部 105 から出射し、受光点 111a で結像する。

【0098】

光路 A において、光路 B が反射面 102 に達した位置に対応する位置から、光路 A が反射面 102 に達した位置までの物理的な光路長を  $L_{A1}$  と定義する。光路 B において、光路 B が反射面 102 に達した位置から、光路 A が反射面 102 に達する位置に対応する位置までの物理的な光路長を  $L_{B1}$  とする。

【0099】

また、光路 A において、光路 A が反射面 103 に達した位置から、光路 B が反射面 103 に達する位置に対応する位置までの物理的な光路長を  $L_{A2}$  と定義する。光路 B において、光路 A が反射面 103 に達した位置に対応する位置から、光路 B が反射面 103 に達した位置までの物理的な光路長を  $L_{B2}$  とする。

【0100】

また、光路 A が反射面 102 に達した位置から、光路 A が反射面 103 に達する位置までの物理的距離を伝送長  $L$  と定義する。伝送長  $L$  は、信号光が  $z$  方向の正の方向に伝送される領域の物理的長さに相当する。

【0101】

反射面 102 及び反射面 103 は、ともに光路を 90 度折り曲げるミラーとして機能するので、 $y$  方向及び  $z$  方向の幾何学的形状は共通である。したがって、物理的な光路長  $L_{A1}$  は、物理的な光路長  $L_{B1}$  と等しい。同様に物理的な光路長  $L_{A2}$  は、物理的な光路長  $L_{B2}$  と等しい。

【0102】

しかしながら、物理的な光路長  $L_{A1}$  に対応する光学的な光路長は、物理的な光路長  $L_{B1}$  に対応する光学的な光路長と一致しない。これは、反射面 102 で反射した後で光学的な光路長が異なるため、光路 A を軌跡とする光線の位相は、光路 B を軌跡とする光線の位相と一致しないためである。すなわち、光路 A と光路 B とは位相差が生じる。このように、屈折率分布を含むシート状光伝送路に、伝送される方向に対して垂直でない反射面を設けると、反射面は光路長差発生部として機能する。

【0103】

光路 A と光路 B とは、位相差があるため、シート状光伝送路 101 の内部を伝送される信号光の強度ピーク位置がシフトする。光路 A が  $L_{A1}$  に対応する光路を伝送される間に信号光が感じる屈折率は、光路 B が  $L_{B1}$  に対応する光路を伝送される間に信号光が感じる屈折率よりも高い。

【0104】

この結果、光路 A は、光路 B よりも位相が遅れてしまう。したがって、図 2 から明らかなように、両光路が交差する位置は、シート状光伝送路 101 の中心部 101a とは一致せず、 $y$  方向の正側にシフトしている。

【0105】

また、シート状光伝送路 101 を  $z$  方向に伝送される光線は、屈折率分布のために位相が乱れない。したがって、反射面 102 により発生した光路 A 及び光路 B の間の位相差は、そのまま反射面 103 へ伝送される。反射面 103 においても、同じメカニズムで、光路 A 及び光路 B の間に位相差を発生させる。

【0106】

反射面 102 で発生する位相差を定量化する。図 3 (a) は、シート状光伝送路 101 及び入射部 104 を、図 1 (a) 中の C-D-G-H 面を含む平面で切断した断面である。また、図 3 (b) は、シート状光伝送路 101 の屈折率分布を表すグラフである。図 3 (b) において、縦軸は  $y$  方向と一致させており、 $y$  座標の原点を中心部 101a とする。

【0107】

屈折率分布定数を  $g$  とし、中心部 101a における屈折率を  $n_0$  とし、 $y$  方向の屈折率

分布を以下の (1) 式に示された二次関数で定義する。

【0108】

【数1】

$$n(y) = n_0 \left( 1 - \frac{g^2 y^2}{2} \right) \quad (1)$$

【0109】

図3 (b) において、横軸は屈折率  $n(y)$  であり、縦軸はシート状光伝送路 101 の  $y$  方向の位置座標である。位置の原点はシート状光伝送路 101 の中心部 101a である。図3 (b) から明らかなように、(1) 式は上に凸の二次関数で、中心部 101a の屈折率が最大屈折率  $n_0$  であり、中心部 101a から  $y$  方向の正負両方向に離れるにしたがって連続的かつ中心対称に屈折率が低下していく屈折率分布である。

【0110】

物理的な光路長を光学的な光路長へ変換するには、屈折率分布の関数を位置で積分すればよい。簡単のために、光路A及び光路Bを伝送する信号光が反射面 102 において反射する位置は、シート状光伝送路 101 の最大径の位置であるとする。

【0111】

光路Aの物理的な光路長  $L_{1A}$  に対応する光学的な光路長は、屈折率分布の関数である (1) 式を、位置座標  $y$  について  $-d/2$  から  $d/2$  まで積分したものに等しい。すなわち、光路Aの物理的な光路長  $L_{1A}$  に対応する光学的な光路長は、図3 (b) において屈折率分布を表す式 (1) のグラフと  $y$  軸とが形成する領域  $\alpha$  の面積に等しい。

【0112】

同様に、光路Bの物理的な光路長  $L_{1B}$  に対応する光学的な光路長は、図3 (b) において位置  $d/2$  における屈折率の値  $n(d/2)$  を、位置座標  $y$  について  $-d/2$  から  $d/2$  まで積分したものに等しい。すなわち、光路Bの物理的な光路長  $L_{1B}$  に対応する光学的な光路長は、図3 (b) において矩形の領域  $\beta$  の面積に等しい。

【0113】

したがって、反射面 102 により発生した光路A及び光路Bの間の光学的な光路長の差  $\Delta L$  は、以下の (2) 式で表わす。また、このときの光路Aと光路Bの間に発生する位相差  $\Delta$  は、以下の (3) 式で表される。

【0114】

【数2】

$$\Delta L = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \left\{ n(y) - n\left(\frac{d}{2}\right) \right\} dy = 2 \int_0^{\frac{d}{2}} \left\{ n(y) - n\left(\frac{d}{2}\right) \right\} dy = \frac{n_0 g^2 d^3}{12} \quad (2)$$

【0115】

【数3】

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L = \frac{n_0 g^2 d^3}{6\lambda} \pi \quad (3)$$

【0116】

上記の位相差  $\Delta$  を具体的に数値計算した結果を表1に示す。なお、計算に際して屈折率分布定数  $g$  は、 $d/2$  で中心から 1% 程度低下する値として設定している。また、中心部 101a の屈折率は  $n_0 = 1.5$  に設定している。

【0117】

【表 1】

	シート状光伝送路の屈折率分布方向の径 [ $\mu\text{m}$ ]			
	50	100	200	1000
屈折率分布定数 $g [\text{mm}^{-1}]$	5.6	2.8	1.414	0.28
位相差 $\Delta$ [ラジアン]	$1.18\pi$	$2.35\pi$	$4.71\pi$	$23.5\pi$

表 1 から明らかなように、反射面 102 において発生する光路 A 及び光路 B の間の位相差は、 $\pi$  ラジアン以上である。光路 A 及び光路 B の間の位相差をゼロにしなければ、強度分布を維持したまま信号光を出射することができない。

【0118】

そこで、位相差を補償する方法について説明する。はじめに、光路 A を伝送される信号光が反射面 102 に達した位置から、光路 A を伝送される信号光が反射面 103 に達する位置までの物理的距離（以下、伝送長という） $L$  が、満足すべき条件を求める。

【0119】

入射部 104 からシート状光伝送路 101 に入射する信号光及び、シート状光伝送路 101 から出射部 105 へ出射する信号光は、ともに平行光である。また、屈折率分布係数  $g$  が与えられると、シート状光伝送路 101 を伝送する光線は、屈折率分布に従って周期  $2\pi/g$  で蛇行する。

【0120】

したがって、シート状光伝送路 101 で、平行光として入射した信号光を平行光として出射させるためには、伝送長  $L$  を周期  $2\pi/g$  の整数倍にすればよい。すなわち、伝送長  $L$  は、以下の（4）式を満足する必要がある。

【0121】

【数 4】

$$L = \frac{2\pi}{g} j \quad (j = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

【0122】

一方、屈折率分布によって、光路 A の物理的な伝送長  $L$  に対応する光学的な光路長は、光路 B の物理的な伝送長に対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路 101 の全体の光路 A 及び光路 B の間の光学的な光路長の差は、反射面 102 及び反射面 103 のみで発生すると考えてよい。したがって、反射面 102 及び反射面 103 は、光路長差発生部である。

【0123】

したがって、シート状光伝送路 101 の全体の光学的な光路長の差  $\Delta L_{\text{total}}$  は、反射面 102 に対して計算した（2）式を 2 倍した以下の（5）式の値と等しい。

【0124】

【数 5】

$$\Delta L_{\text{total}} = 2\Delta L = \frac{n_0 g^2 d^3}{6} \quad (5)$$

【0125】

上記（5）式は、光路 A の光学的な光路長が光路 B の光学的な光路長より  $\Delta L_{\text{total}}$  の値だけ大きいことを意味している。したがって、（5）式の値を信号光の波長の整数倍に一致させることにより、光路 A の位相と光路 B の位相との間の差をゼロにすることができる。すなわち、光路 A 及び光路 B の位相差をゼロにする条件は、以下の（6）式で表され

る条件である。

【0126】

【数6】

$$\Delta L_{total} = \frac{n_0 g^2 d^3}{6} = k\lambda \quad (k=1,2,3...) \quad (6)$$

【0127】

このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状光伝送路101全体で発生する光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を(6)式を満足するように構成すれば、信号光の波長 $\lambda$ の自然数倍となる。この結果、光路Aと光路Bとの間の位相差は発生しない。

【0128】

ここで、シート状光伝送路101は、次のように設計される。はじめに、(4)式により伝送長 $L$ を決定する。これにより、屈折率分布定数 $g$ が決定される。次に、決定された屈折率分布定数 $g$ と、あらかじめ与えられる信号光の波長 $\lambda$ とを用いて(6)式を調整する。

【0129】

調整するためのパラメータは、中心部101aの屈折率 $n_0$ 及び $y$ 方向の厚さ $d$ である。調整ができないときは、屈折率分布定数 $g$ を変化させて、再び(4)式により伝送長 $L$ を決定する。この最適化設計を繰り返すことにより、所望のシート状光伝送路101を得ることができる。

【0130】

以上のように、第1の実施形態に係る光デバイスは、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、信号光の波長 $\lambda$ の自然数倍となっている。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射した後とで等しい。このため、第1の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路に入射した際の波形と、出射する際の波形とを一致させることができ、光伝送路から信号光を損失なく出射することができる。

【0131】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれも $z$ 方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。特に、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

【0132】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、光路A及び光路Bは、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を2個含み、2個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0133】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、 $y$ 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路を含み、シート状伝送路が $y$ 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を有している。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送することができる。

【0134】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路が、 $z$ 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、 $z$ 方向へ折り曲げるための反射面102と、 $z$ 方向に伝送した信号光の光軸を、 $z$ 方向と平行でない方向へ折り曲げるための反射面103とを含んでいる。この場合、反射面102と反射面103とは、光路長差発生部である。

【0135】

この構成により、z方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、z方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

**【0136】**

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路において、反射面102により信号光のすべてがz方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが反射面103に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期のj倍(j=0, 1, 2, 3...)に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

**【0137】****(第2の実施形態)**

次に、本発明の第2の実施形態を説明する。第2の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第2の実施形態のマルチモード干渉二分岐器200は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、シート状光伝送路201の構成のみが異なる。

**【0138】**

図4は、本発明の第2の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器200の信号光が伝送される部分の断面図である。図4は、マルチモード干渉二分岐器200を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。図4において、入射部104と、出射部105と、反射面102と、反射面103とは、すべて第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100と等しい構成を持つ。

**【0139】**

シート状光伝送路201は、y方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路201は、中心部101aが最大屈折率 $n_0$ である。シート状光伝送路201は、中心部101aを対称面として、(1)式を満足する屈折率分布を持つ。また、シート状光伝送路101は、y方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。また、シート状光伝送路201の伝送長Lは、以下の(7)式を満足している。

**【0140】****【数7】**

$$L = \frac{2\pi}{g}(j+0.5) \quad (j=0,1,2,\dots) \quad (7)$$

**【0141】**

(7)式は、伝送長Lが、シート状光伝送路201で光が伝送する際の蛇行周期の(整数+0.5)倍であることを意味している。伝送長Lが、(7)式を満足している場合、光路A及び光路Bの蛇行周期が、入射時と比較して半周期だけずれる。

**【0142】**

このため、光路Aは、反射面102の最も入射部104から遠い側で反射して、z方向の正の方向に折り曲げられ伝送された後、反射面103の最も出射部105に近い側で反射する。同様に、光路Bは、反射面102の最も入射部104から近い側で反射して、z方向の正の方向に折り曲げられ伝送された後、反射面103の最も出射部105から遠い側で反射する。

**【0143】**

ここで、物理的な光路長 $L_{1A}$ と、 $L_{2A}$ と、 $L_{1B}$ と、 $L_{2B}$ とを第1の実施形態の場合と等しく定義する。また、伝送長Lも第1の実施形態の場合と等しく定義する。第2の実施形態の場合、光路Aの物理的な光路長 $L_{1A}$ に対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な光路長 $L_{2B}$ に対応する光学的な光路長と等しい。また、光路Aの物理的な光路長 $L_{2A}$ に対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な光路長 $L_{1B}$ に対応する光学的な光路長と等しい。

## 【0144】

一方、屈折率分布によって、光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長に対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路A及び光路Bの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光学的な光路長を  $\Delta L_{total}$  とすると、以下の(8)式が成り立つ。

## 【0145】

## 【数8】

$$\Delta L_{total} = 0 \quad (8)$$

## 【0146】

すなわち、光路Aの光学的な光路長と、光路Bの光学的な光路長の間の差は、ゼロとなる。光学的な光路長の差がゼロであるから、光路A及び光路Bの間には位相差は発生しない。このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状伝送路201の伝送長Lを(7)式を満足するように設定すると、ゼロになる。

## 【0147】

以上のように、第2の実施形態に係る光デバイスは、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロである。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射した後とで等しい。このため、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路に入射した際の波形と、出射する際の波形とを一致させることができ、光伝送路から信号光を損失なく出射することができる。

## 【0148】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。特に、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

## 【0149】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光路A及び光路Bは、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を2個含み、2個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、ゼロである。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

## 【0150】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、y方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路を含み、シート状伝送路がy方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を有している。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送することができる。

## 【0151】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路が、z方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、z方向へ折り曲げるための反射面102と、z方向に伝送した信号光の光軸を、z方向と平行でない方向へ折り曲げるための反射面103とを含んでいる。さらに、反射面102と反射面103とは、光路長差発生部である。

## 【0152】

この構成により、z方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、z方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

## 【0153】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路において、反射面102により信号光のすべてがz方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが反射面10



3に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍 $(j=0, 1, 2, 3, \dots)$ に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0154】

(第3の実施形態)

次に、本発明の第3の実施形態を説明する。第3の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第3の実施形態のマルチモード干渉二分岐器300は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部304と、出射部305と、シート状光伝送路301との構成が異なる。

【0155】

図5は、本発明の第3の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器300の信号光が伝送される部分の断面図である。図5は、マルチモード干渉二分岐器300を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。

【0156】

シート状光伝送路301は、y方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路301は、中心部101aが最大屈折率 $n_0$ である。シート状光伝送路301は、中心部101aを対称面として、(1)式を満足する屈折率分布を持つ。また、シート状光伝送路301は、y方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。

【0157】

シート状光伝送路301において、入射部304から入射する信号光は、反射面102上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち、入射部304のy方向の長さを適切に設定することにより、信号光を、反射面102上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0158】

また、シート状光伝送路301において、出射部305から出射する信号光は、反射面103上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光された後、出射部105から出射する。すなわち、出射部305のy方向の長さを適切に設定することにより、信号光を、反射面103上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0159】

さらに、シート状光伝送路301は、このとき、シート状光伝送路301の反射面102から反射面103までの中心部101aにおける物理的な光路長 $L_{R-R}$ は、以下の(9)式の関係式を満足している。

【0160】

【数9】

$$L_{R-R} = \frac{2\pi}{g} \cdot \frac{j}{2} \quad (j=0,1,2,3,\dots) \quad (9)$$

【0161】

(9)式は、物理的な光路長 $L_{R-R}$ が、シート状光伝送路301内を蛇行する信号光の光路の蛇行周期の半整数倍と等しいことを意味している。(9)式を満足するように、物理的な光路長 $L_{R-R}$ を設定すると、反射面102上でx方向に平行な線状に集光した信号光は、反射面103上にx方向に平行な線状に再び集光する。

【0162】

したがって、反射面101と反射面102との間には、yz平面に平行な面内で光学的には共役関係が成立する。このとき、光路Aが感じる屈折率は、光路Bが感じる屈折率は完全に一致するので、光路A及び光路Bの間には、位相差は発生しない。このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状伝送路301の物理的な光路長 $L_{R-R}$ を、(9)

) 式を満足するように設定すると、ゼロになる。

【0163】

以上のように、第3の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路301を伝送される複数の光路のうち、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなっている。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射した後とで等しい。このため、第3の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路に入射した際の波形と、出射する際の波形とを一致させることができ、光伝送路から信号光を損失なく出射することができる。

【0164】

また、第3の実施形態に係る光デバイスは、光路A及び光路Bは、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。この構成により、光路A及びBの位相差をゼロにすることができる。

【0165】

また、第3の実施形態に係る光デバイスは、上述のシート状光伝送路は、反射面102と、反射面103とを含み、中心部101aにおける反射面102と反射面103との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍( $j=0, 1, 2, 3, \dots$ )に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さが半分となる中心部で、y方向及びz方向に共に直交するx方向に平行な線状に集光される。

【0166】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0167】

(第4の実施形態)

次に、本発明の第4の実施形態を説明する。第4の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第4の実施形態のマルチモード干渉二分岐器400は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部404と、出射部405及び出射部406と、シート状光伝送路401との構成が異なる。

【0168】

図6(a)は、本発明の第4の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器400の信号光が伝送される部分の断面図である。図6(a)は、マルチモード干渉二分岐器400を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0169】

シート状光伝送路401は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路401は、z方向の両端に反射面402及び反射面403を持つ。

【0170】

入射部404は、シート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鋭角をなすように構成される。また、出射部405は、シート状光伝送路401から出射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鋭角をなすように構成される。

【0171】

反射面402は、入射部405を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向からシート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸をz方向に折り曲げるよう配置されている。反射面403は、シート状光伝送路401を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向へ信号光を折り曲げるよう配置されている。

## 【0172】

シート状光伝送路401において、入射部404から入射する信号光は、反射面402上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち、入射部404の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面402上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

## 【0173】

また、シート状光伝送路401において、出射部405から出射する信号光は、反射面403上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光された後、出射部405から出射する。すなわち、出射部405の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面403上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

## 【0174】

このように、第4の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器400は、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と平行でなく、所定の鋭角をなしている。したがって、発光素子111と受光素子112との配置レイアウトの自由度を向上させることができる。

## 【0175】

なお、第4の実施形態において、第1の実施形態及び第2の実施形態で説明したように、シート状光伝送路401の信号光の光路Aと光路Bとの位相差を計算し、その位相差を信号光の波長の自然数倍やゼロとしてもよい。このようにしても、光路Aと光路Bとの位相差をゼロにすることができる。

## 【0176】

(第5の実施形態)

次に、本発明の第5の実施形態を説明する。第5の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第5の実施形態のマルチモード干渉二分岐器500は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部504と、出射部505及び出射部506と、シート状光伝送路501との構成が異なる。

## 【0177】

図6(b)は、本発明の第5の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器500の信号光が伝送される部分の断面図である。図6(b)は、マルチモード干渉二分岐器400を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。なお、図中、屈折率分布は省略している。

## 【0178】

シート状光伝送路501は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路501は、z方向の両端に反射面502及び反射面503を持つ。

## 【0179】

入射部504は、シート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鈍角をなすように構成される。また、出射部505は、シート状光伝送路501から出射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鈍角をなすように構成される。

## 【0180】

反射面502は、入射部504を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向からシート状光伝送路501へ入射する信号光の光軸をz方向に折り曲げるよう配置されている。反射面503は、シート状光伝送路501を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向へ信号光を折り曲げるよう配置されている。

## 【0181】

シート状光伝送路501において、入射部504から入射する信号光は、反射面502上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち

、入射部 504 の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面 502 上の、シート光伝送路の中心部 101a で、x 方向に平行な線状に集光することができる。

#### 【0182】

また、シート状光伝送路 501 において、出射部 505 から出射する信号光は、反射面 503 上の、シート光伝送路の中心部 101a で、x 方向に平行な線状に集光された後、出射部 505 から出射する。すなわち、出射部 505 の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面 503 上の、シート光伝送路の中心部 101a で、x 方向に平行な線状に集光することができる。

#### 【0183】

シート状光伝送路 501 は、このとき第 3 の実施形態において説明した (9) 式を満足している。したがって、反射面 502 と反射面 503 との間には、yz 平面に平行な面内で光学的には共役関係が成立する。このとき、光路 A が感じる屈折率は、光路 B が感じる屈折率は完全に一致するので、光路 A 及び光路 B の間には、位相差は発生しない。

#### 【0184】

このように、第 5 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 500 は、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれも z 方向と平行でなく、所定の鈍角をなしている。したがって、発光素子 111 と受光素子 112 との配置レイアウトの自由度を向上させることができる。

#### 【0185】

なお、第 5 の実施形態において、第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態で説明したように、シート状光伝送路 501 の信号光の光路 A と光路 B との位相差を計算し、その位相差を信号光の波長の自然数倍やゼロとしてもよい。このようにしても、光路 A と光路 B との位相差をゼロにすることができる。

#### 【0186】

##### (第 6 の実施形態)

図 7 (a) は、本発明の第 6 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 600 の信号光が伝送される部分の断面図である。第 6 の実施形態では第 1 の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第 6 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 600 は、図 1 に示したマルチモード干渉二分岐器 100 と概略等しい構成を備えており、出射部に相当する構成を備えていない点のみ相違する。なお、図中、屈折率分布は省略している。

#### 【0187】

図 7 (a) において、第 6 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 600 は、入射部 104 と、シート状光伝送路 601 とを備える。シート状光伝送路 601 は、入射側の構成は、第 1 実施形態に係るシート状光伝送路 101 と等しい。一方、出射側において、信号光は、出射側からシート状光伝送路 601 の端面から z 方向に出射される。

#### 【0188】

したがって、シート状光伝送路 601 において、光路長差発生部は反射面 102 しかない。よって、反射面 102 において発生した光路 A と光路 B との位相差を、信号光の波長の整数倍とすることにより、位相差をゼロにすることができる。

#### 【0189】

##### (第 7 の実施形態)

図 7 (b) は、本発明の第 7 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 700 の信号光が伝送される部分の断面図である。第 7 の実施形態では第 1 の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第 7 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 700 は、図 1 に示したマルチモード干渉二分岐器 100 と概略等しい構成を備えており、入射部に相当する構成を備えていない点のみ相違する。なお、図中、屈折率分布は省略している。

#### 【0190】

図 7 (b) において、第 7 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 700 は、入射

部104と、シート状光伝送路701とを備える。シート状光伝送路701は、出射側の構成は、第1実施形態に係るシート状光伝送路101と等しい。一方、入射側において、信号光は、入射側からシート状光伝送路701の端面からz方向に入射される。

【0191】

したがって、シート状光伝送路701において、光路長差発生部は反射面103しかない。よって、反射面103において発生した光路Aと光路Bとの位相差を、信号光の波長の整数倍とすることにより、位相差をゼロにすることができる。

【0192】

(第8の実施形態)

次に、図8(a)を参照して本発明の第8の実施形態を説明する。第8の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第8の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器800は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、出射部に相当する構成がない点及び中間入出射部が存在する点が異なる。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0193】

第8の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器800は、入射部104と、シート状光伝送路801と、中間入出射部820とを備える。シート状光伝送路801は、入射側の構成は、第1実施形態に係るシート状光伝送路101と等しい。一方、出射側において、信号光は、出射側からシート状光伝送路801の端面からz方向に出射される。

【0194】

中間入出射部820は、反射面813と、中間出射部814と、処理部816と、中間入射部817と、反射面819と、を含む。

【0195】

反射面813は、z方向の正方向に沿って伝送する信号光をy方向の負方向へ折り曲げるように、zx平面に対して45°の角度をなす反射面である。

【0196】

中間出射部814は、x方向に伸びた三角柱形状の均質媒質のプリズムである。中間入射部817は、y方向の負方向へ折り曲げられた信号光の光軸を、z方向の正方向へ折り曲げる反射面815を有する。

【0197】

処理部816は、入射した信号光を光学フィルタで処理する。例えば、偏光フィルタや半波長板や1/4波長板やNDフィルタ等である。また、液晶素子を配置してもよい。この場合、光学スイッチとして機能する。

【0198】

中間入射部817は、x方向に伸びた三角柱形状の均質媒質のプリズムである。中間入射部817は、z方向に伝送される信号光をy方向の正方向へ折り曲げる反射面818を有する。

【0199】

反射面819は、y方向の正方向に沿って入射する信号光を、z方向の正方向へ折り曲げるように、zx平面に対して45°の角度をなす反射面である。

【0200】

以上の構成において、発光点110aから発振した信号光は、第1の実施形態と同様に伝送されて反射面813に至る。信号光の光軸は、反射面813でy方向の負方向へ折り曲げられる。さらに中間出射部814の反射面815で反射して、z方向の正方向へ折り曲げられる。z方向の正方向へ折り曲げられた信号光の光軸は、処理部816で所定の処理を受け、中間入射部817の反射面818で反射して、y方向の正方向へ折り曲げられる。y方向の正方向へ折り曲げられた信号光の光軸は、反射面819によりz方向の正方向に折り曲げられる。信号光は、最後にシート状光伝送路の端部から出射される。

【0201】

シート状光伝送路801において、光路長差発生部は反射面102と、反射面813と

、反射面 819 の 3 面である。よって、3 面の反射面で発生する光路 A と光路 B との光学的な光路長差の和を、信号光の波長の整数倍とすることにより、光路 A と光路 B と全体の位相差をゼロにすることができる。

【0202】

また、3 面の反射面で発生する光路 A と光路 B との光学的な光路長差の和を、ゼロにすることにより、光路 A と光路 B との全体の位相差をゼロにすることができる。

【0203】

(第 9 の実施形態)

次に、図 8 (b) を参照して本発明の第 9 の実施形態を説明する。第 9 の実施形態では第 1 の実施形態及び前述の第 8 の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第 9 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 900 は、図 10 (a) に示したマルチモード干渉二分岐器 800 と概略等しい構成を備えており、出射部 105 が第 1 の実施形態と等しい点異なる。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0204】

シート状光伝送路 901 において、光路長差発生部は反射面 103 と、反射面 813 と、反射面 819 と、反射面 103 との 4 面である。よって、4 面の反射面で発生する光路 A と光路 B との光学的な光路長差の和を、信号光の波長の整数倍とすることにより、光路 A と光路 B と全体の位相差をゼロにすることができる。

【0205】

また、4 面の反射面で発生する光路 A と光路 B との光学的な光路長差の和を、ゼロにすることにより、光路 A と光路 B との全体の位相差をゼロにすることができる。

【0206】

(他の実施形態)

第 1 乃至第 9 の実施形態は、上述の形態に限られず適宜変更することができる。例えば、位相差を発生させる部分は、第 1 乃至第 5 の実施形態では反射面であったが、光路長差を求めることが可能であれば他の構成でもよい。

【0207】

また、各実施形態では、発光素子 110 は、面発光レーザであったが、端面発光レーザ等の他の素子でもよい。また、発光素子 110 の発光点 110a の位置に、外部の光源から発振した信号光を伝送した他の光伝送路の出射部を配置してもよい。

【0208】

また、各実施形態では、受光素子 111 及び受光素子 112 は、フォトダイオードであったが、フォトトランジスタ等の他の素子でもよい。また、受光素子 111 の受光点 112a 及び受光素子の受光点 112a の位置に、信号光を伝送するための他の光伝送路の入射部を配置してもよい。

【0209】

また、各実施形態では、屈折率分布は中心屈折率が最大（最大屈折率  $n_0$ ）であり中心から周辺方向に離れるにしたがって連続的かつ中心対称に屈折率が低下していく屈折率分布であったが、これに限られない。例えば、中心部から階段状にステップ関数的に低下する屈折率分布でもよい。

【0210】

さらに、各実施形態では、シート状光伝送路の y 方向以外の方向は、各実施形態ではマルチモード干渉を発生させるため一定屈折率であったが、光データベースシートなどの場合は x 方向に信号光を閉じこめるために所望の屈折率分布を持っていてもよい。また、光学的な光路長差が発生する光路長差発生部は、任意の数でよい。

【0211】

例えば、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を m 個 ( $m=1, 2, 3 \dots$ ) 含み、m 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和を、信号光の波長の自然数倍に等しくしてよい。

【0212】

また、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を  $n$  個 ( $n=2, 3, 4 \dots$ ) 含み、 $n$  個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和を、ゼロとしてよい。

#### 【0213】

また、第1乃至2の実施形態では、入射部からシート状光伝送路へは平行光入射するよう構成されているが、発散光あるいは収束光入射でもよく、信号光のシート状光伝送路の中心部に対する対称性が存在すればよい。

#### 【0214】

以上のように、各実施形態の光デバイスは、以下の構成を備えている。

(1) 第1方向(上記では  $y$  方向)に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって当該第1方向に直交する第2方向(上記では  $z$  方向)に伝送可能な光伝送路を備える。

(2) 光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と平行でない。

(3) 複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しい。

#### 【0215】

各実施形態に係る光デバイスは、(1)の構成を備えているので、光伝送路が屈折率分布を備えているため、光伝送路を伝送される信号光にモード分散や差動分散が発生しない。したがって、伝送される信号光の波形のくずれが発生せず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能である。

#### 【0216】

また、各実施形態に係る光デバイスは、(2)の構成を備えているため、入射部及び出射部は、非平行入射部として機能する。したがって、レーザやセンサーなどの光部品を実装する際に、光部品と光伝送路との間の高さを調整が容易である。この結果、これらの光部品を簡単に実装することができる。また、直接電気用基板上に実装が可能となるため、光デバイスをコンパクトにできる。

#### 【0217】

また、各実施形態に係る光デバイスは、(3)の構成を備えているので、二つの光路を伝送される光線は、光伝送路から出射する際に損失なく結合される。

#### 【0218】

特に、各実施形態に係る光デバイスのように、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方が、第2方向と直交する場合、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。例えば、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

#### 【0219】

(マルチモード干渉の Self-Imaging の効果)

次に、上記第1乃至第9の実施形態で説明した光学的な光路長差を補償する構成と、マルチモード干渉の Self-Imaging の効果によって信号光を分岐するために必要なシート状光伝送路の物理的な光路長との関係について説明する。ここでは簡単のために、第1の実施形態の光デバイスにおいて、Self-Imaging の効果を用いて光を二分岐させる場合を例として説明する。

#### 【0220】

図9は、第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の構成を表す斜視図である。図10は、第1の実施形態に係るシート状光伝送路101の部分断面図である。図10は、図9に図示したC-D-G-H面を表している。なお、図9及び図10において、詳細な構成は、第1の実施形態で説明したので省略し、新たに説明が必要になる部分のみ説明する。

#### 【0221】

図9及び図10において、Self-Imaging の効果に基づく  $z$  方向の物理的な光路長を  $L1$  とする。また、シート状光伝送路101の反射面102から反射面103ま

での中心部 101a における物理的な光路長を  $L_2$  とする。

【0222】

図 10 において、シート状光伝送路 101 は、 $zx$  平面に平行な面内で屈折率は一定である。したがって、信号光の光路の内、中心部 101a に入射する光路 O は、屈折率分布の影響を受けることなく直進する。光路 O は、直進する間に感じる屈折率は一定である。一方、光路 A は、屈折率が伝送方向へ進行するに従って刻々変化する。そこで、マルチモード干渉の説明に際しては、これら二つの光路を分けて説明することとする。

【0223】

中心部 101a に入射する光路 O 上を伝送される信号光は、一定の屈折率  $n_0$  の平面内を伝送される。したがって、Self-Imaging の効果の適用して  $L_1$  を計算することができる。Self-Imaging の効果によれば、以下の (10) 式に示す  $L_\pi$  を単位して周期的に伝送される信号光が入射する信号光と同一の形状に戻る事が知られている。

【数 10】

$$L_\pi = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (10)$$

【0224】

入射する信号光の挙動は、信号光が伝送路に入射した  $x$  方向の位置に応じて、Self-Imaging の効果の計算を行うことができる。例えば、第 1 の実施形態のように、 $x$  方向の中心位置に入射した信号光は、 $3/4 L_\pi$  を周期として同一の波形が得られることが知られている。

【数 11】

$$\frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} = \frac{4n_0 W^2}{3\lambda} \quad (11)$$

ここで、 $n_0$  は中心部の最大屈折率、 $W$  はシート型光伝送路の  $x$  方向の大きさ、 $\lambda$  は伝送される信号光の波長である。

【0225】

このように、Self-Imaging の効果は、シート状光伝送路の伝送路長が、基本モードと 1 次モードの差の関数となることに特徴がある。また、Self-Imaging の効果は、基本モードと 1 次モードの差が、近似的に信号光の波長  $\lambda$  と、屈折率  $n_0$  と、幅方向の大きさ  $W$  とで決定されることに特徴がある。

【0226】

また、Self-Imaging の効果によれば、 $x$  方向の中心位置に入射した信号光が  $x$  方向の中心位置を通り  $yz$  面に平行な面に対して対称に  $N$  等分に分岐して集光される位置は、同一の出力波形となる位置から  $z$  方向に  $(1/N) 3/4 L_\pi$  だけずれた位置になることが知られている。

【0227】

以上より、シート状光伝送路 101 の  $x$  方向の大きさ  $W$  の中心位置に入射した信号光が、 $x$  方向の中心位置を通り  $yz$  面に平行な面に対して対称に  $N$  個に分岐して集光されるためには、物理的な光路長  $L_1$  が、以下の (12) 式を満足することが必要である。

【数 12】

$$L_1 = p * \frac{4}{3} L_\pi \pm \frac{1}{N} * \frac{4}{3} L_\pi = \left( p \pm \frac{1}{N} \right) \frac{4}{3} L_\pi = \left( p \pm \frac{1}{N} \right) \frac{n_0 W^2}{\lambda} \quad (12)$$

ただし、 $p$  ( $p \geq 0$ )、 $N$  ( $N \geq 1$ ) はともに整数で、 $L_1$  は正の数であるから  $(p \pm 1/N)$  が正の数となる関係を満足する。

【0228】

分岐数が 2 の場合 ( $N=2$  である場合) を計算すると、(12) 式を変形して以下の (



13) 式を得る。

【数13】

$$L_1 = \left( p \pm \frac{1}{2} \right) \frac{n_0 W^2}{\lambda} = (2p+1) \frac{n_0 W^2}{2\lambda} \quad (p=0,1,2,\dots) \quad (13)$$

【0229】

(13) 式からわかるように、第1の実施形態の場合、 $n_0 W^2 / (2\lambda)$  を単位としその奇数倍 (1, 3, 5...) の周期に対応した位置に出射部を設けることにより、信号光を分岐することができる。

【0230】

一方、中心部から離れた位置に入射する光路Aは、屈折率分布の影響を受けシート状光伝送路101内を蛇行しながら伝送する。したがって、光路A上を伝送される信号光が感じる屈折率は均一ではない。

【0231】

光路Aにおいて、中心部101aから離れる方向に進む場合、常に屈折率が大い方から小さい方へ進行するため、次第にy方向とのなす角が大きくなる方向に進行する。すなわち、光路Aは、中心部101aから離れる方向に進む場合、中心部101aから離れるに従ってz方向に平行となるように近づいていく。

【0232】

逆に、光路Aにおいて、中心部101aへ近づく方向に進む場合、常に屈折率が小さい方から大きい方へ進行するため、次第にy方向とのなす角が小さくなる方向に進行する。すなわち、光路Aは、中心部101aへ近づく方向に進む場合、中心部101aへ近づくに従ってz方向に垂直となるように近づいていく。この作用を繰り返すことにより、光路Aは、蛇行しながら進行する。

【0233】

このように、光路Aの信号光は常にy方向と有限の角度をなして進行していくことになる。この結果、光路Aを伝送される信号光の速度は、中心部101aから離れる方向に進む場合、増大していく。逆に、光路Aを伝送される信号光の速度は、中心部101aへ近づく向に進む場合、減少していく。

【0234】

シート状光伝送路101の屈折率分布は、前述の(1)式を満足する二次関数で表されている。屈折率分布を適切に設定することにより、光路Aのz方向の速度成分は、光路Oのz方向の速度成分と等しくなる。

【0235】

z方向の光の速度成分が一定であることは、z方向に位相の乱れがないことを意味する。したがって、光路Aを伝送される信号光は、(13)式を満足するようにシート状光伝送路101を構成した場合、光路Oを伝送される信号光と同様に振る舞う。

【0236】

このように、光路Aの伝送される信号光は、物理的な光路長 $L_1$ が(13)式を満足する限り、Self-Imagingの効果によりx方向に二分岐されて集光される。このため、(13)式に基づいて計算された集光位置に出射部を設けることにより、信号光を二分岐させて出射させることができる。

【0237】

しかしながら、入射する信号光と出射する信号光の強度分布を完全に整合させるためには、先に説明した反射面102及び反射面103で発生する位相差がゼロとなるように構成する必要がある。

【0238】

位相差がゼロとなるシート状光伝送路101の物理的な光路長は、(4)式で求めたとおりである。(4)式の条件から $L_2$ を求めると、(4)式にdだけ加えた以下の(14

) 式が得られる。

【数 1 4】

$$L_2 = \frac{2\pi}{g} j + d \quad (j = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (14)$$

【0 2 3 9】

表 2 は、シート状光伝送路 1 0 1 において、マルチモード干渉の S e l f - I m a g i n g の効果により二分岐できる最短の物理的な光路長  $L_1$  と、反射面で発生した位相差を補償する最短の物理的な光路長  $L_2$  との関係を具体的に計算した結果を示す表である。ただし、屈折率  $n_0 = 1.5$  とし、波長  $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$  とし、屈折率分布定数  $g$  を  $d/2$  で中心から 1 % 程度低下するように設定している。また、 $L_1$  欄のうち、1 倍・2 倍とあるのは、出射部においてシート状光伝送路 1 0 1 の  $y$  方向の厚さ  $d$  のそれぞれ 1 倍・2 倍となるシート状光伝送路の  $x$  方向の分離幅  $W$  を表す。

【0 2 4 0】

【表 2】

		シート状光伝送路のY方向厚さ $d$ [ $\mu\text{m}$ ]			
		50	100	200	1000
屈折率分布係数 $g$ [ $\text{mm}^{-1}$ ]		5.6	2.8	1.414	0.28
反射面で発生した 位相差を補償する 最短の物理的な 光路長 $L_2$ [ $\text{mm}$ ]		1.17	2.34	4.69	23.2
マルチモード干渉 で二分岐 できる最短の 物理的な光路長 $L_1$ [ $\text{mm}$ ]	1倍	8.8	35.3	141	352
	2倍	35.2	141	565	14118

表 2 からわかるように、光路長  $L_2$  と光路長  $L_1$  とを、同時に満足するためには、 $L_2$  の整数倍であって  $L_1$  の奇数倍となるような値を、シート状光伝送路 1 0 1 に採用すればよい。

【0 2 4 1】

しかしながら、両者を完全に一致させることは困難である。そこで、伝送方向長さに対する許容幅が  $L_2$  よりも広い  $L_1$  を用いて微調整をすることが必要である。表 2 から理解されるように、 $L_2$  は  $L_1$  と比較してはるかに小さい値をとるので、両者を整合させるためには、 $L_2$  を調整して  $L_1$  とほぼ一致する物理的な光路長を採用するとよい。例えば、 $L_2$  をほぼ 8 倍すれば、 $x$  方向に幅  $d$  だけ二分岐するために必要な  $L_1$  を得る。

【0 2 4 2】

以上説明したように、実施形態の光デバイスは、屈折率分布に直交する方向から入射する信号光の位相差を補償する物理的な光路長と、マルチモード干渉の S e l f - I m a g i n g の効果の条件における S e l f - I m a g i n g の効果により分岐可能な物理的な光路長とが一致している。このため、入射した信号光をマルチモード干渉により二分岐して出射する際に、入出射部分とシート状光伝送路とを損失なく結合することができる。

【0 2 4 3】

以上の説明したように、実施形態の光デバイスは、反射面で発生した位相差を補償する物理的な光路長と、マルチモード干渉の S e l f - I m a g i n g の効果の条件に基づく物理的な光路長とが一致している。このため、入射した信号光をマルチモード干渉により

二分岐して出射する際に、入出射部分とシート状光伝送路とを損失なく結合することができる。

#### 【0244】

なお、以上の例では、シート状光伝送路101のx方向の対称位置に二分岐させる例を示したが、本発明はこの実施形態に限定されない。

#### 【0245】

図11(a)～(d)は、光デバイスの入出力構成の例を示す模式図である。図11(a)～(d)は、いずれも、光デバイスのzx平面に平行な面からみた図である。

#### 【0246】

図11(a)は、他の実施形態のマルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図である。図11(a)に記載した光デバイスは、一つの入射部Input1から入射した信号光を、マルチモード干渉により分岐して二つの出射部Output1及び出射部Output2から出射する分岐器である。入射部Input1は、光デバイスのz方向の中心位置から外れた位置に配置されている。出射部Output1は、入射部Input1を通りz軸に平行な線上に配置されている。出射部Output2は、出射部Output1とx方向に間隔を空けて配置されている。

#### 【0247】

図11(b)は、他の実施形態のマルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図である。図11(b)に記載した光デバイスは、二つの入射部Input1及び入射部Input2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成して一つの出射部Output1から出射する合成器である。二つの入射部Input1及び入射部Input2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線に関して対称に配置されている。出射部Output1は、x方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。

#### 【0248】

図11(c)は、他の実施形態のマルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図である。図11(c)に記載した光デバイスは、二つの入射部Input1及び入射部Input2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成して一つの出射部Output1から出射する合成器である。二つの入射部Input1及び入射部Input2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線に関して対称に配置されている。出射部Output1は、入射部Input1を通りz軸に平行な線上に配置されている。

#### 【0249】

図11(d)は、他の実施形態のマルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図である。図11(d)に記載した光デバイスは、二つの入射部Input1及び入射部Input2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成及び分岐して二つの出射部Output1及び出射部Output2から出射する合成器である。二つの入射部Input1及び入射部Input2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線に関して対称に配置されている。二つの出射部Output1及び出射部Output2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線に関して対称に配置されている。

#### 【0250】

図11(a)～(d)に記載された光デバイスは、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件がそれぞれ異なる。そこで、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を変更して、物理的な光路長とを調整するとよい。これにより、図11(a)～(d)に記載された光デバイスにおいて、反射面で発生した位相差を補償する物理的な光路長と、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件に基づく物理的な光路長とが一致する。この結果、入射した信号光をマルチモード干渉により二分岐して出射する際に、入出射部分とシート状光伝送路とを損失なく結合することができる。

#### 【0251】

さらに、上記光デバイスの入出力構成に限られず、シート状光伝送路へ信号光を入射するためのM個(M=1, 2, 3...)の入射部と、シート状光伝送路から信号光を出射

するためのN個 ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) の出射部とを備え、マルチビーム干渉により入射部を結合する光デバイスに適用可能である。

【0252】

また、以上の例では、第1の実施形態のシート状光伝送路を例にしたが、第2及び第3の実施形態に係るシート状光伝送路に対しても、適用することができる。

【0253】

以上のように、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足することを実現した実施形態の光デバイスは、以下の構成を備えている。

(1) 第1方向に屈折率分布を含み、信号光を第1方向に直交する第2方向に伝送可能であり、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路

(2) 光伝送路へ信号光を入射するためのM個 ( $M=1, 2, 3 \dots$ ) の入射部

(3) 光伝送路から信号光を出射するためのN個 ( $N=1, 2, 3 \dots$ ) の出射部を備えており、

(4) M個の入射部及びN個の出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が前記第2方向と平行でない方向に前記シート状光伝送路と結合する少なくとも一つの非平行入出射部を含む。

(5) 非平行入出射部と対応する入射部又は出射部との間を伝送する信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称にシート状光伝送路へ入射する二つの光路は、シート状光伝送路へ入射する位相差と前記シート状光伝送路から出射する位相差とが等しい。

(6) M個の入射部及びN個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足する位置に配置されている。

【0254】

実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器は、(1)の構成を備えているので、光伝送路を伝送される信号光にモード分散や差動分散が発生しない。したがって、伝送される信号光の波形のくずれが発生せず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能である。

【0255】

また、実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器は、(4)の構成を備えているため、レーザやセンサーなどの光部品を実装する際に、光部品と光伝送路との間の高さを調整が容易である。したがって、これらの光部品を簡単に実装することができる。また、直接電気用基板上に実装が可能となるため、光デバイスをコンパクトにできる。

【0256】

また、実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器は、(5)の構成を備えているので、二つの光路を伝送される光線は、光伝送路から出射する際に損失なく結合される。

【0257】

また、実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器は、(2)と(3)と(6)との構成を備えているので、入射部から入射した信号光は、マルチモード干渉により出射部から出射される。

【産業上の利用可能性】

【0258】

本発明の光デバイスは、光通信システム等で用いられるマルチモード干渉光分岐器やマルチモード干渉光光合成器、あるいは光データバスシート等に好適である。

【図面の簡単な説明】

【0259】

【図1】 (a) は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の斜視図、(b) は、マルチモード干渉二分岐器100の正面図

【図2】 本発明の第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の信号光が伝送される部分の断面図

【図3】 (a) は、シート状光伝送路101及び入射部104を図1(a)中のC-

D-G-H面を含む平面で切断した断面、(b)は、シート状光伝送路101の屈折率分布を表すグラフ

【図4】第2の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器200の信号光が伝送される部分の断面図

【図5】本発明の第3の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器300の信号光が伝送される部分の断面図

【図6】(a)は、本発明の第4の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器400の信号光が伝送される部分の断面図、(b)は、本発明の第5の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器500の信号光が伝送される部分の断面図

【図7】(a)は、本発明の第6の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器600の信号光が伝送される部分の断面図、(b)は、本発明の第7の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器700の信号光が伝送される部分の断面図

【図8】(a)は、本発明の第8の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器800の信号光が伝送される部分の断面図、(b)は、本発明の第9の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器900の信号光が伝送される部分の断面図

【図9】第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の構成を表す斜視図

【図10】第1の実施形態に係るシート状光伝送路101の部分断面図

【図11】(a)～(d)は、光デバイスの入出力構成の例を示す模式図

【符号の説明】

【0260】

101, 201, 301, 401, 501, 601, 701, 801, 901 シート状光伝送路

102, 402, 502 反射面

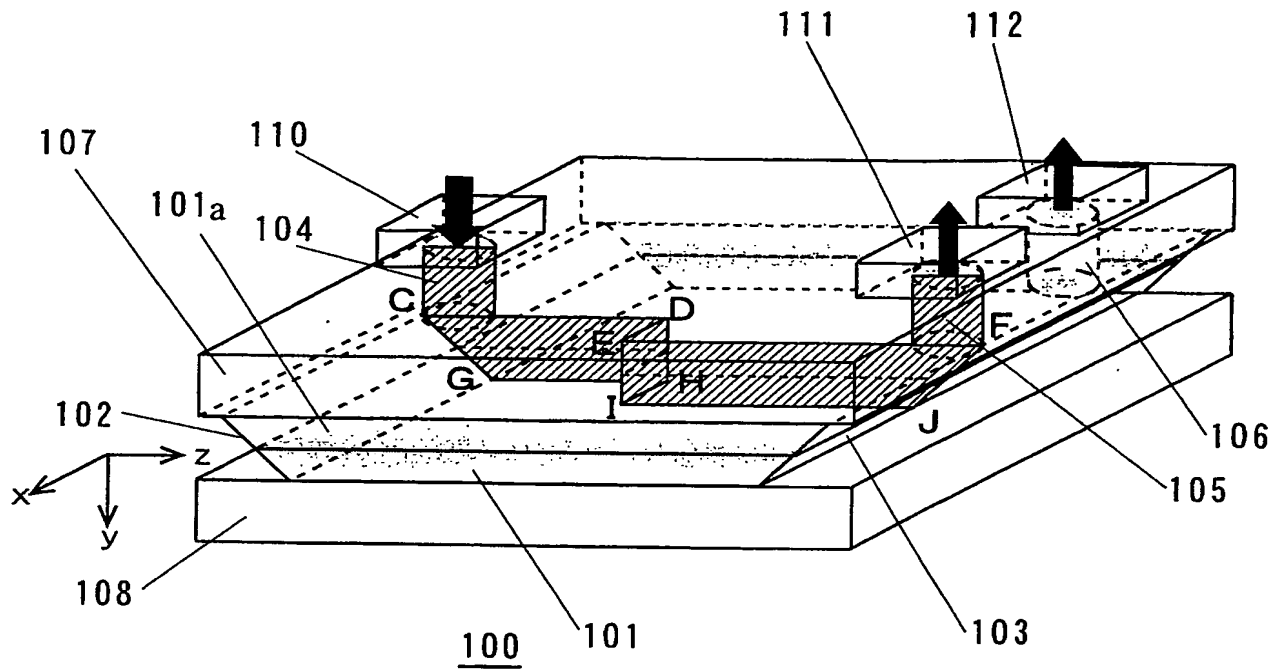
103, 403, 503 反射面

813, 819 反射面

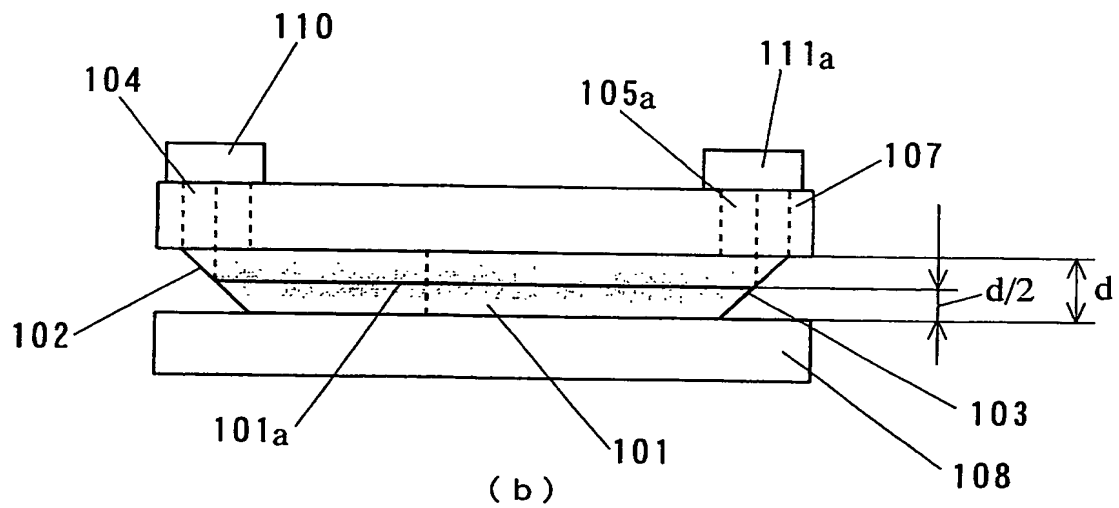
104, 404, 504 入射部

105, 405, 505 出射部

【書類名】図面  
【図 1】

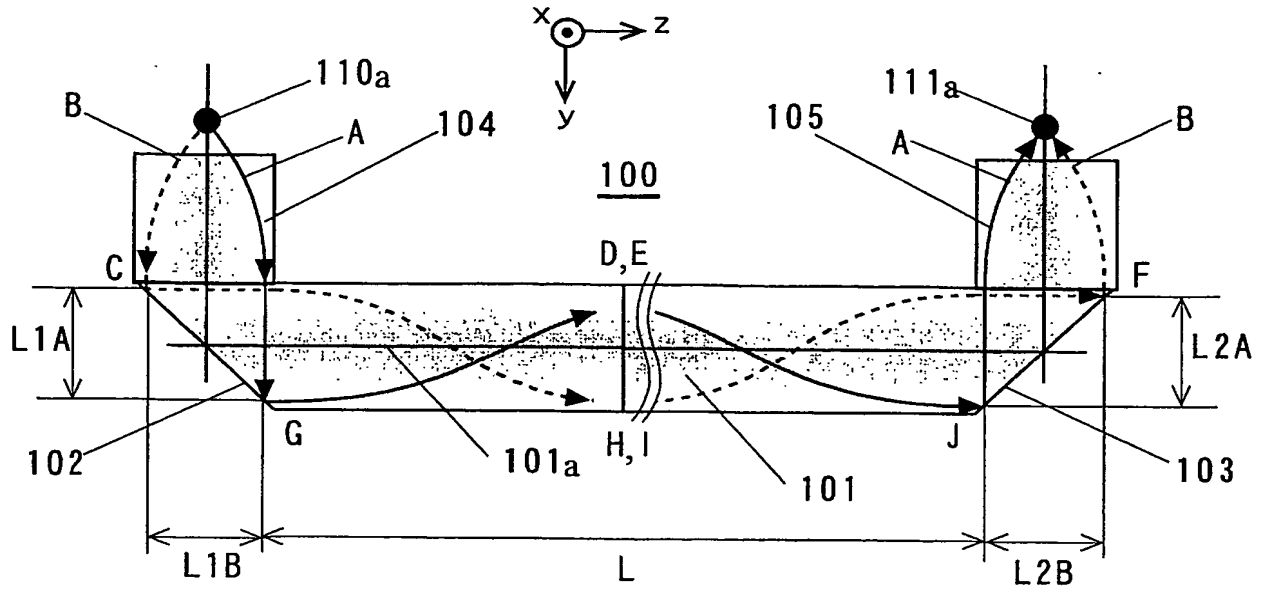


(a)

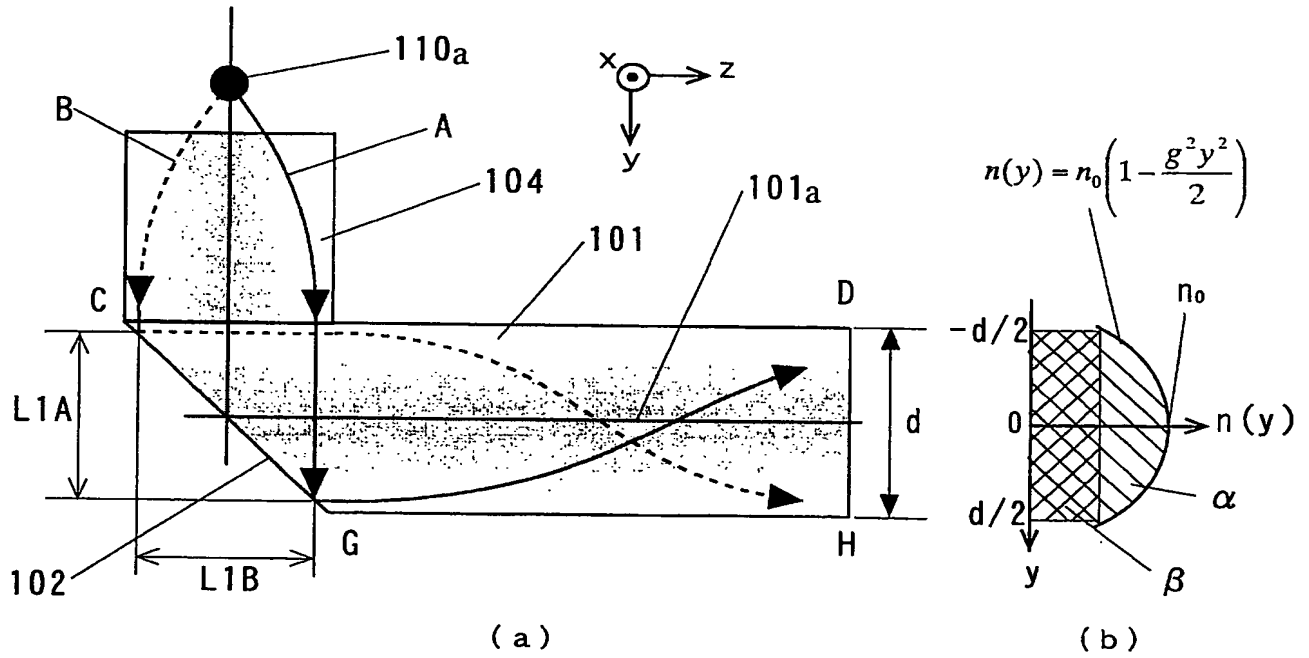


(b)

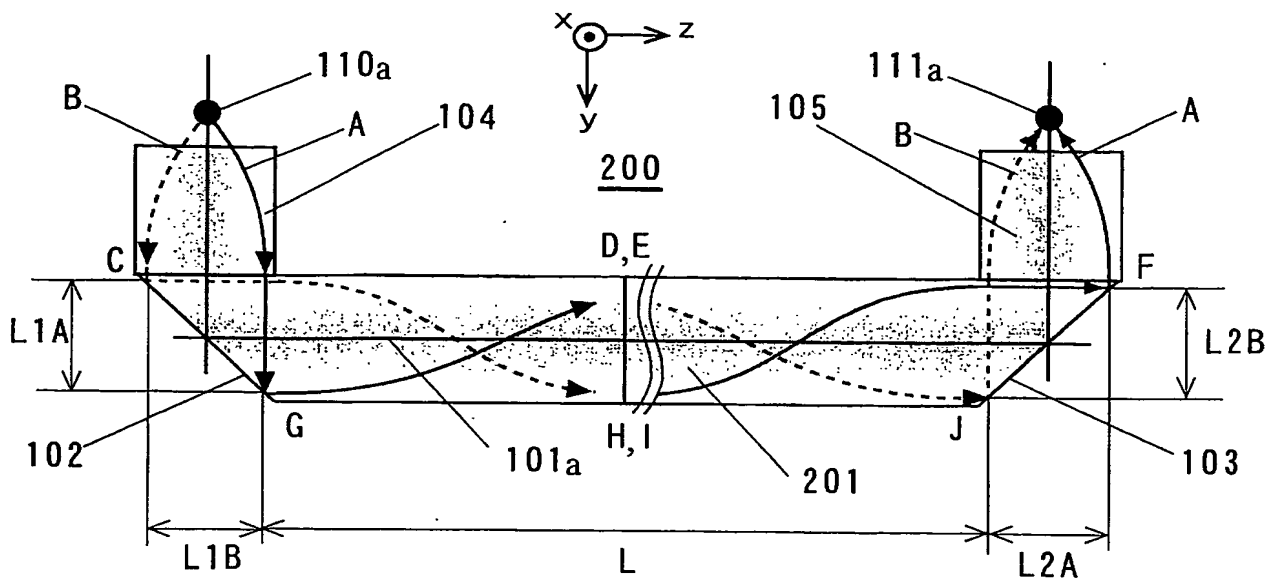
【図 2】



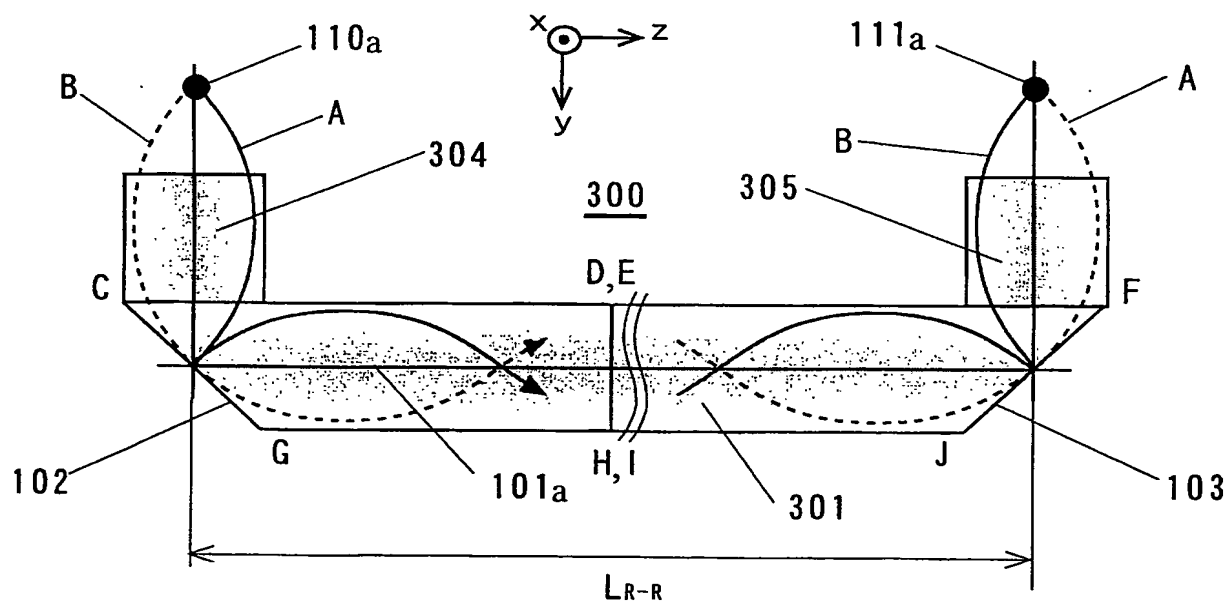
【図 3】



【図 4】

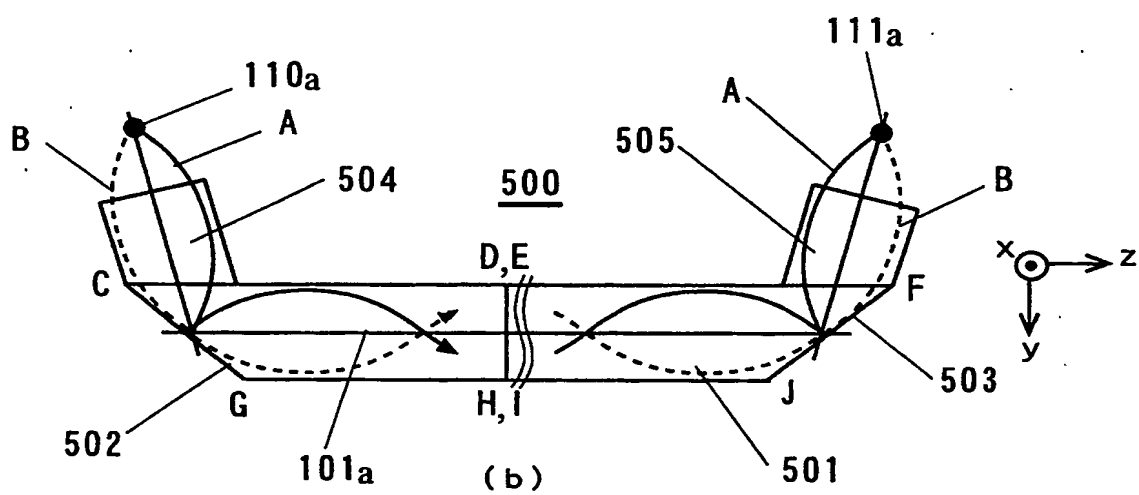
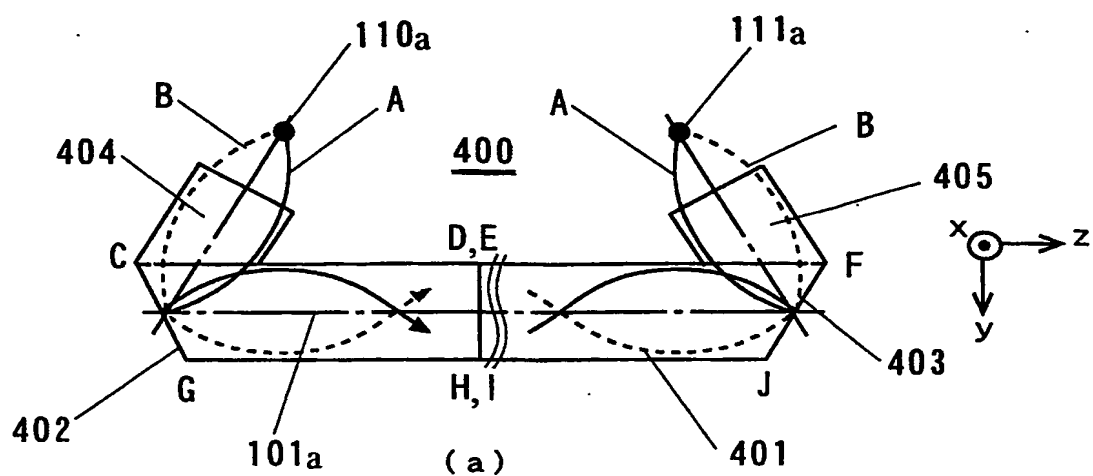


【図 5】

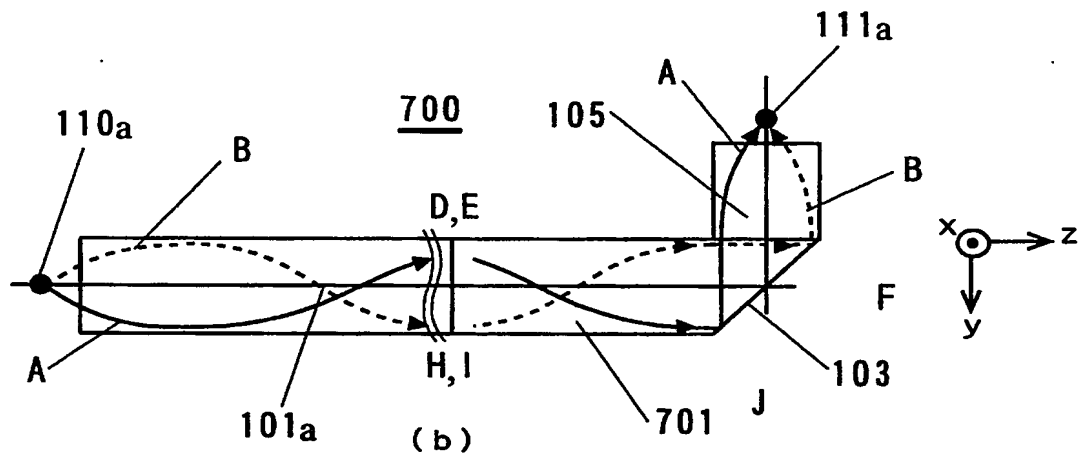
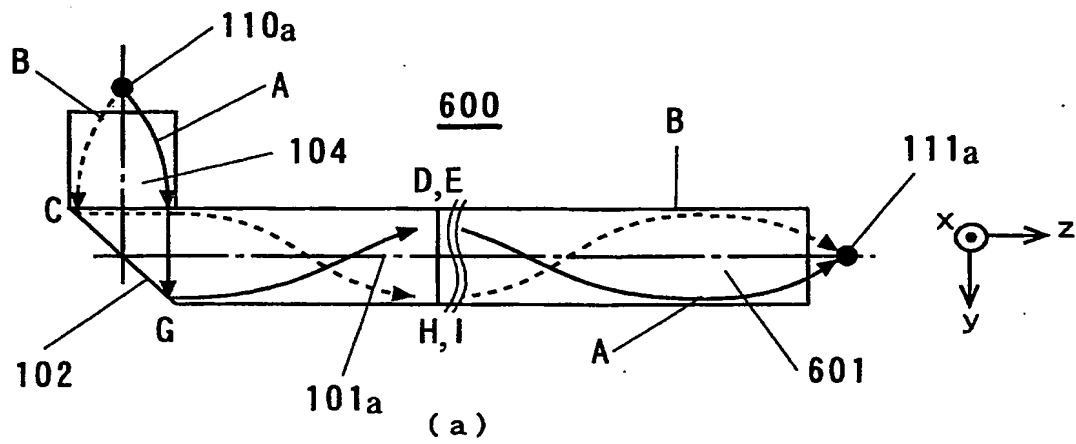




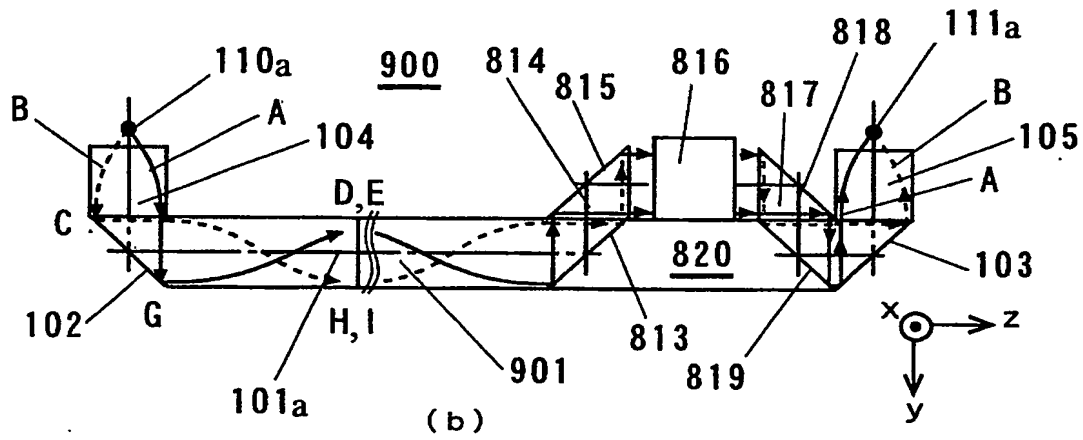
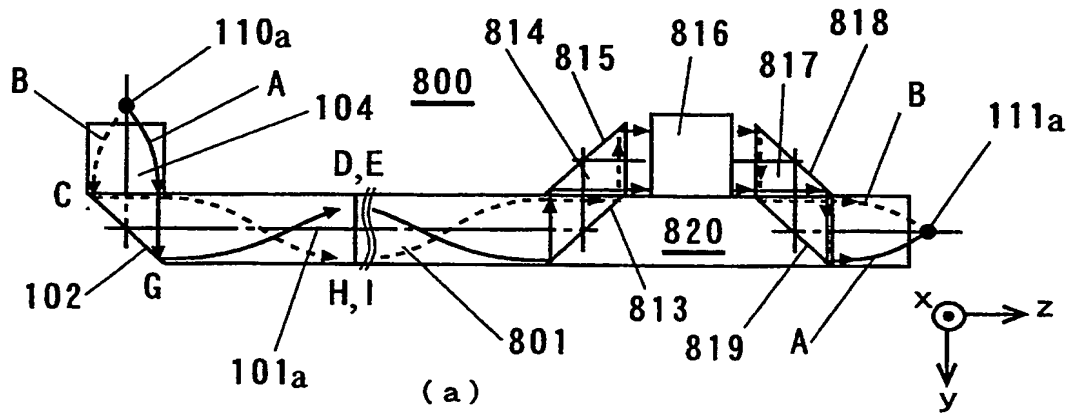
【図 6】



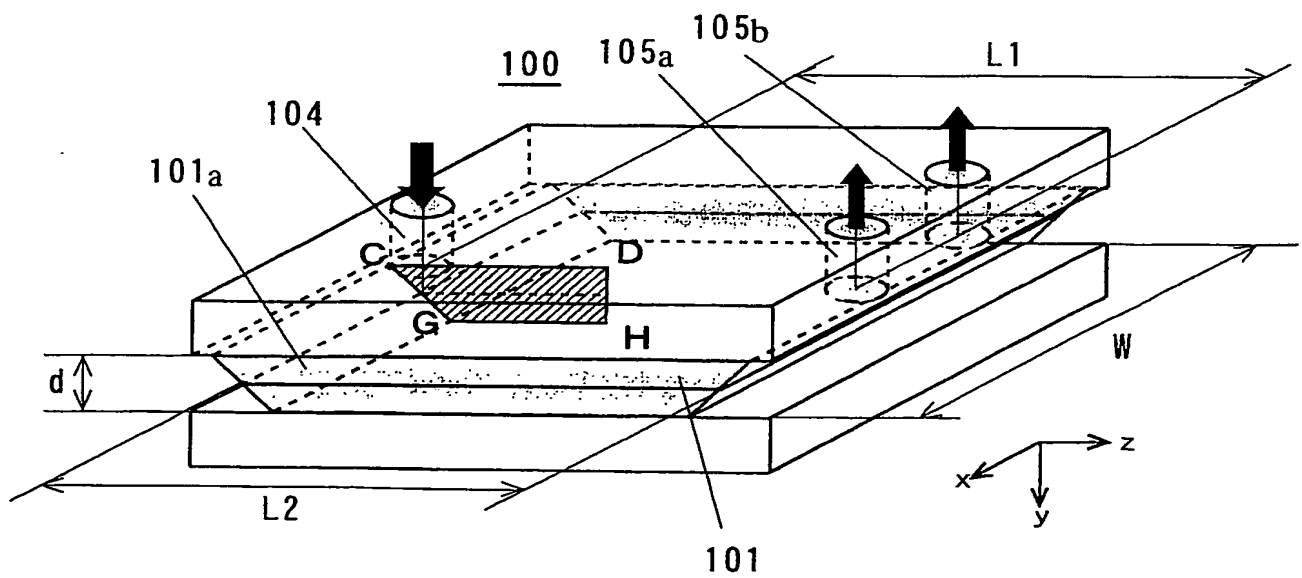
【図 7】



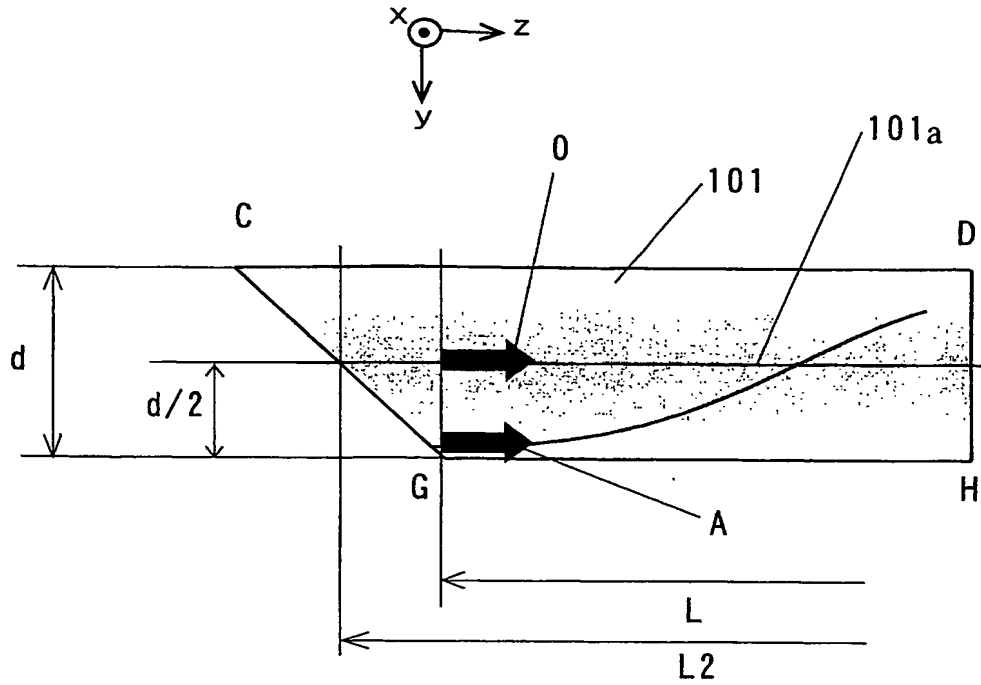
【図 8】



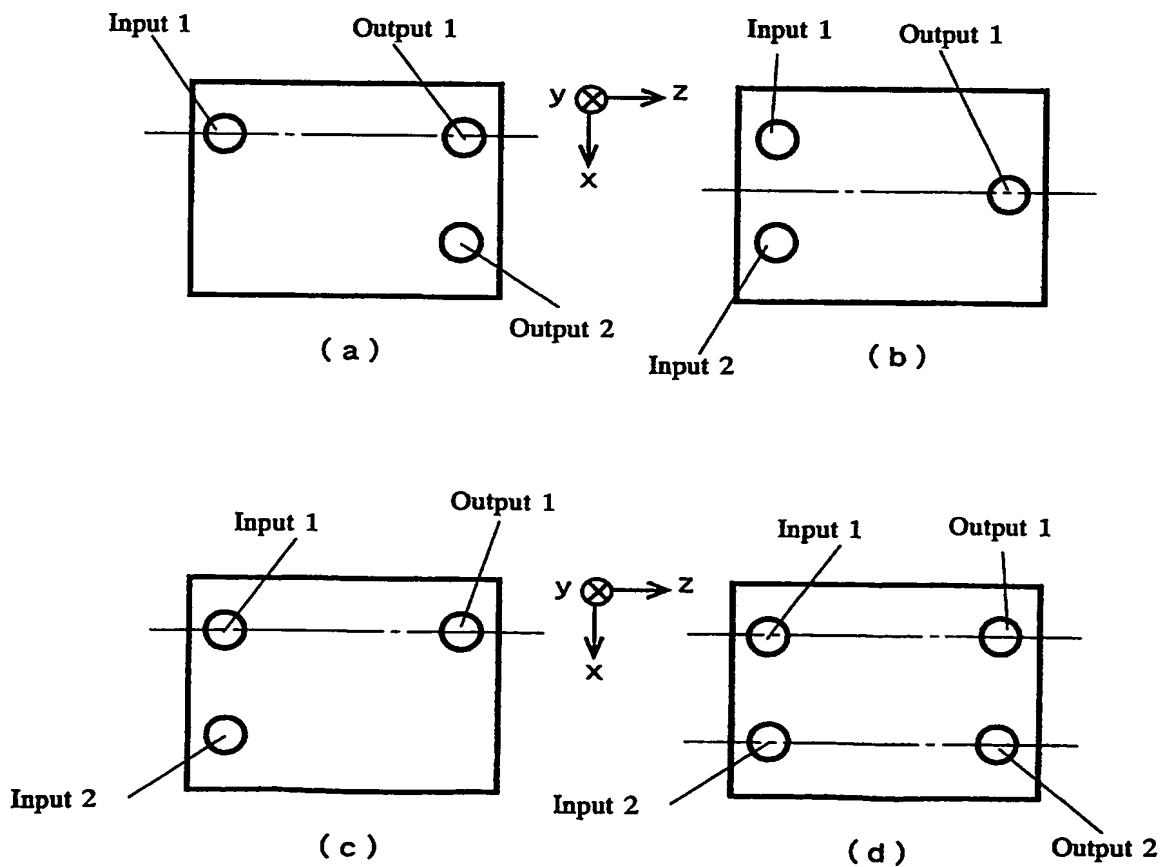
【図 9】



【図 10】



【図 11】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 入出射部の光部品の実装が容易であり、マルチモードでギガビットクラスの高速伝送が可能な光伝送路を有する光デバイスを提供する。

【解決手段】 外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、 $y$  方向に屈折率分布を含み、 $z$  方向に信号光を伝送可能なシート状光伝送路 1 0 1 を備え、シート状光伝送路 1 0 1 へ入射する前の信号光の光軸、及び前記光伝送路から出射する信号光の光軸は、いずれも  $z$  方向に直交している。光路 A 及び光路 B は、光伝送路へ入射する位相差と前記光伝送路から出射する位相差とが等しい。

【選択図】 図 2

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2004-017655
受付番号	50400126374
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成16年 1月27日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】	平成16年 1月26日
-------	-------------

特願 2 0 0 4 - 0 1 7 6 5 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 8 2 1 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社